Nur für den Dienstgebrauch

Tektronix
MESSELEKTRONIK

Signaturanalyse

Prüfverfahren für Baugruppen und Geräte mit Mikroprozessoren

Grundlagen

Applikationsschrift

Vorwort

Die Signaturanalyse hat sich in den letzten Jahren als Prüfverfahren für Mikroprozessorschaltungen bewährt, besonders für die Anwendung im Technischen Kundendienst.

Diese Applikationsschrift enthält, in Auswertung der umfangreichen, meist englischsprachigen Literatur auf diesem Gebiet, einen Überblick über den gegenwärtigen Stand, Hinweise zur prüfgerechten Gestaltung von Erzeugnissen und Vorschläge zur Anwendung von Signaturanalysatoren.

Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, die Zusammenhänge zwischen der Signaturanalyse und anderen Prüfverfahren darzustellen, weil die optimale Diagnosekonzeption für ein zu prüfendes Erzeugnis die Kombination verschiedener Prüfverfahren erfordert.

Inhaltsverzeichnis Seite

1.	Grundlagen der Signaturanalyse	4
1.1.	Übersicht	4
1.2.	Signaturanalysator	5
1.3.	Prüfablauf	8
1.4.	Vor- und Nachteile	12
1.5.	Ökonomie	12
2.	Regeln für den Schaltungsentwurf	15
2.1.	Notwendigkeit der prüfgerechten Erzeugnisentwicklung	15
2.2.	Allgemeine Regeln für einen prüf- und servicefreundlichen Entwurf	15
2.3.	Entwurfsregeln für Digitalschaltungen mit Mikroprozessoren	17
2.3.1.	Problemstellung	17
2.3.2.	Entwurfsregeln für Anwendung der Signaturanalyse	19
2.3.3.	Ausgewählte Entwurfshinweise	25
2.3.3.1.	Bus-Strukturen	25
2.3.3.2.	Festwertspeicher (ROM)	27
2.3.3.3.	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	28
2.3.3.4.	Dekodierschaltungen	30
2.3.3.5.	Asynchrone Schaltungen	30
2.3.3.6.	Monoflops	31
2.3.3.7.	Ein-/Ausgabeschaltungen	31
2.3.3.8.	Interrupterzeugende Schaltungen	33
2.3.3.9.	Anzeigeschaltungen	36
2.3.3.10.	Tastaturen	36
2.3.3.11.	Zähler	36
2.3.3.12.	Abschließende Bemerkung	38
2.4.	Adreßbilddarstellung (Mapping)	38
3.	Anwendung	40
3.1.	Prüfaufgabe allgemein	40
3.2.	Signaturanalyse	40
3.2.1.	Freilaufzustand	40
3.2.2.	Signaturanalyse-Prüfprogramm	44
3.2.2.1.	RAM, Ein- und Ausgänge	44
3.2.2.2.	Äußere Logik	45
3.3.	Anwendung im Prüffeld	45
3.4.	Anwendung im Technischen Kundendienst	46
4.	Dokumentation	47
4.1.	Allgemeine Gesichtspunkte	47
4.2.	Signatur-Tabellen	48
4.3.	Stromlaufplan mit Signaturen	48
4.4.	Spezielle Leiterplattenzeichnung	51
4.5.	Ablaufplan zur Fehlerlokalisierung	51
4.6.	Auswahl der Dokumentationsart	54
5.	Fachwörterverzeichnis (deutsch/englisch)	55
6.	Literaturhinweise	59

1. Grundlagen der Signaturanalyse

1.1. Übersicht

Die Signaturanalyse (S. A.) ist ein Verfahren zur Prüfung von digitalen Schaltungen mit hochintegrierten Schaltkreisen, insbesondere von Baugruppen und Erzeugnissen mit Mikroprozessoren. Im Gegensatz zur analogen Schaltungstechnik, in der die Prüfung von Spannungen und Kurvenformen mittels Voltmeter und Oszilloskop für die Prüfprozesse typisch ist, besteht das Problem in Mikroprozessorschaltungen darin, lange Impulsfolgen in Bussystemen auf die Richtigkeit der in ihnen enthaltenen Informationen zu überprüfen. Typische Prüfverfahren auf diesem Gebiet sind Selbsttest, Logikprüfung (mit Automaten), Signaturanalyse.

Das Prinzip der Signaturanalyse beruht auf der Theorie der zyklisch redundanten Kodes /1/. Das Prüfobjekt wird durch eine Testdatenfolge (Stimulus-Signal) angeregt. Die dadurch in der zu prüfenden Schaltung entstehende Signalfolge wird mittels eines rückgekoppelten Schieberregisters (Abschnitt 1.2.) in ein leicht auswertbares Kennzeichen, die sogenannte Signatur, komprimiert. Die Signatur ist eine vierstellige Hexadezimalzahl. Sie liefert eine Aussage darüber, ob die überprüfte Datenfolge an einem Prüfpunkt der Schaltung richtig oder falsch ist /2/.

Das Verfahren ist nur für getaktete Systeme anwendbar. Es ermöglicht die Prüfung von Mikroprozessorsystemen im Echtzeitbetrieb und gestattet die Fehlerlokalisierung bis zum defekten Bauelement. Das dafür erforderliche Prüfgerät, der Signaturanalysator, ist ein tragbares Gerät, das sich für Anwendungen im Prüffeld und vor allem im Technischen Kundendienst eignet.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Signaturanalyse ist eine entsprechende Vorbereitung des zu prüfenden Erzeugnisses. Das erfordert einen gewissen Zusatzaufwand während der Erzeugnisentwicklung. Diese Vorbereitung besteht in schaltungstechnischen

Maßnahmen (Abschnitt 2.), der Bereitstellung einer Testdatenfolge (Signaturanalyse-Prüfprogramm, z. B. im Festwertspeicher (ROM) des Prüfobjektes) und in der Erarbeitung einer Prüf- und Fehlerlokalisierungsdokumentation (Abschnitt 4.).

Der Signaturanalysator ist ein passives Prüfinstrument, er gibt keinerlei Signale an das Prüfobjekt ab.

Der Prüfvorgang besteht im Vergleichen der mit dem Signaturanalysator an bestimmten Knotenpunkten der zu prüfenden Schaltung abgetasteten Signaturen mit den Sollsignaturen, die vom Erzeugnisentwickler in der Prüfdokumentation (siehe Abschnitt 4.) angegeben wurden. Die Sollsignaturen können berechnet oder empirisch ermittelt werden. Die Arbeitsweise beim Prüfvorgang ist vergleichbar mit der eines Fernsehtechnikers, der in einem Fernsehgerät mit Hilfe eines Oszilloskops bestimmte Oszillogramme aufnimmt und sie mit den im Stromlaufplan vorhanden Solldiagrammen vergleicht, um auf diese Weise den Fehlerort zu ermitteln.

Die Fehlererkennbarkeit, die mit handelsüblichen Signaturanalysatoren erreichbar ist, beträgt 100 % für Einzelbitfehler und 99,998 % für Mehrbitfehler /2/.

1.2. Signaturanalysator

Bild 1.1. zeigt das Blockschaltbild eines Signaturanalysators. Seine Hauptbestandteile sind:

- Datensonde
  (handgeführter Taststift mit Logikpegelanzeige, auch als Logikprüfstift verwendbar)

- Treibersonde
  (Anschlußeinheit für die Signale START, STOP, TAKT)

- Rückgekoppeltes Schieberregister
  (Kernstück des Signaturanalysators, Funktionseinheit zur Kompression der mit der Datensonde aufgenommenen Impulsfolge in eine Signatur, siehe Bild 1.2.).

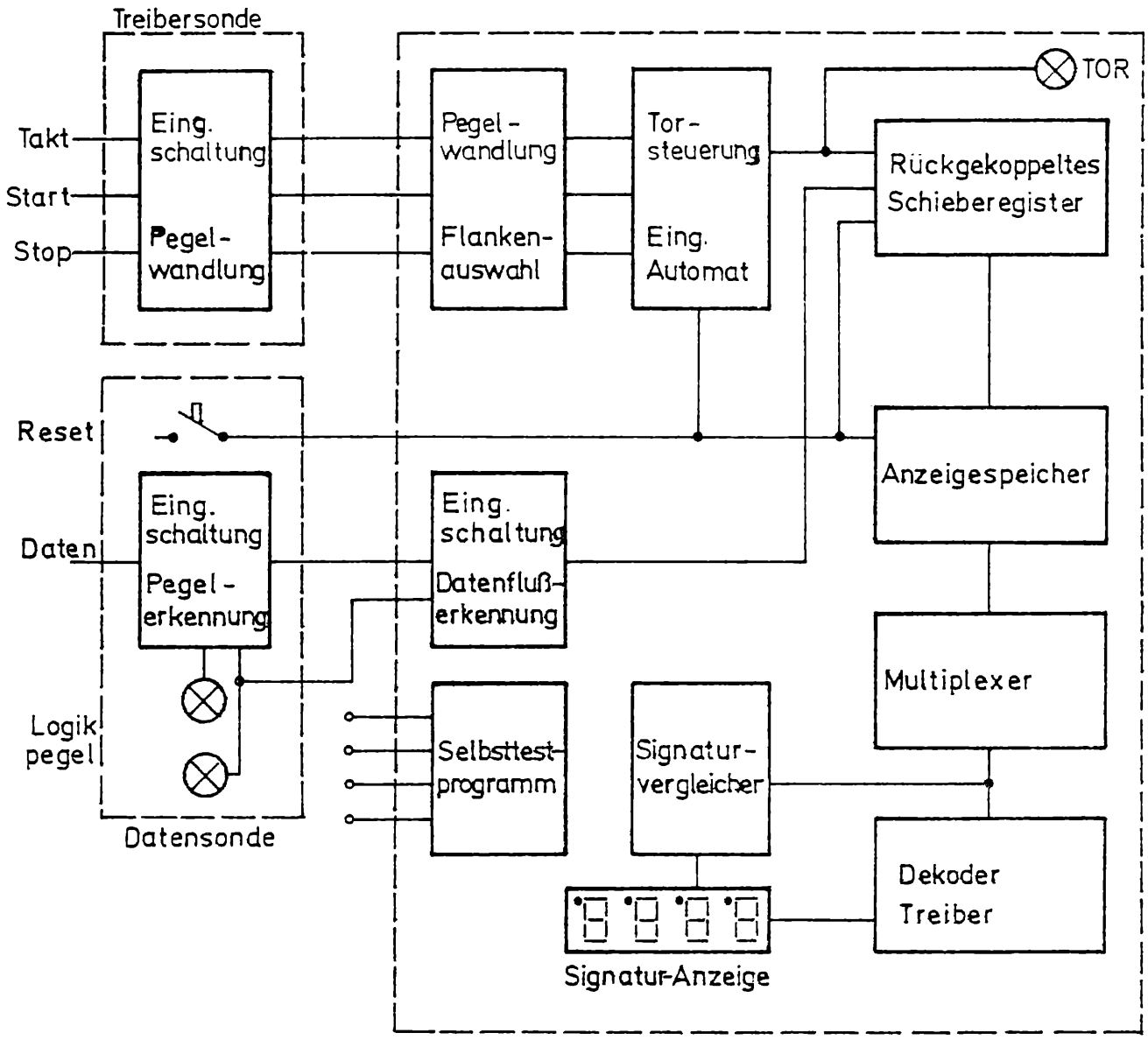


Bild 1.1 Blockschaltbild des Signaturanalysators

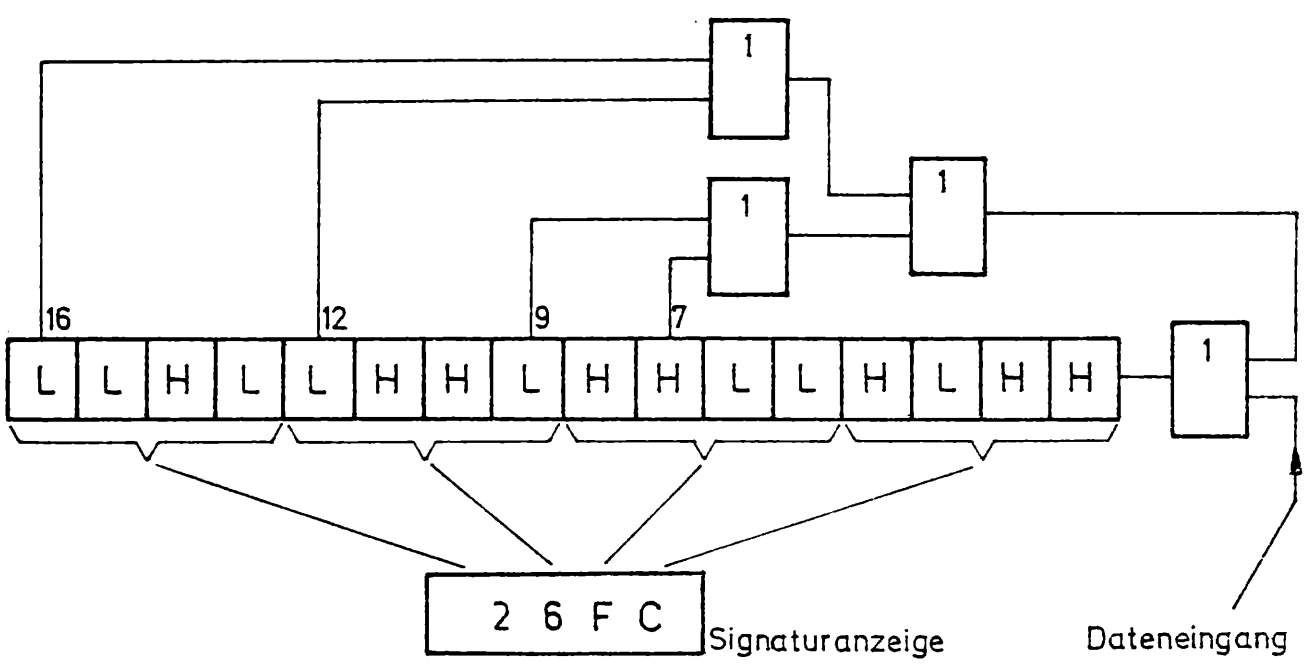


Bild 1.2 Rückgekoppeltes 16-Bit-Schieberegister des Signaturanalysators

- Signaturanzeige
  (vierstellige Siebensegmentanzeige mit speziellen Symbolen, (siehe Tabelle 1).

- Toranzeige
  (Lichtemitterdiode zeigt Zeitdauer zwischen START und STOP an).

- Flankeneinstellung
  (Tastenschalter zur Auswahl der H-L- oder L-H-Flanke für die Signale START, STOP und TAKT).

Erläuterungen zu Bild 1.1.:

Die Signale START und STOP bestimmen die Zeitdauer für die Einleitung des vom Prüfobjekt kommenden Datenstromes aus der Datensonde in das Schieberregister. Die Signalleitungen START, STOP und TAKT sind im Prüfobjekt mittels Prüfklemmen anschließbar. Die Anschlußpunkte müssen in der Prüfdokuemtation vorgegeben werden. (Beispiel siehe Abschnitt 3.2.1.).

Mit der Funktionseinheit "Selbsttest" kann die Funktionsfähigkeit des Signaturanalysators ohne äußere Hilfsmittel überprüft werden. Zur besseren Erkennbarkeit der angezeigten Symbole bei Verwendung von Siebensegmentanzeigen ist es üblich, anstelle von Hexadezimalzahlen den Kode nach Tabelle 1.1. zu benutzen. (Großbuchstaben B und D sind auf Siebensegmentanzeigen nicht darstellbar).

Bitmuster	Anzeige	Bitmuster	Anzeige
LLLL	0	HLLL	8
LLLH	1	HLLH	9
LLHL	2	HLHL	A
LLHH	3	HLHH	C
LHLL	4	HHLL	F
LHLH	5	HHLH	H
LHHL	6	HHHL	P
LHHH	7	HHHH	U

Tabelle 1.1. Kodetabelle

Der Ablauf eines Meßvorgangs ist im Bild 1.3. dargestellt.

Zur Gewährleistung der ordnungsgemäßen Arbeitsweise des Signaturanalysators müssen bestimmte Bedingungen in den Zeitbeziehungen zwischen Daten- und Taktsignal eingehalten werden. (Bild 1.4.).

Die Voreinstellzeit T_v (engl. setup-time) ist die minimale Zeit, für die das Datensignal vor der aktiven Taktflanke stabil sein muß. Die Haltezeit T_h ist die Zeitdauer, für die ein stabiles Datensignal nach der aktiven Taktflanke vorhanden sein muß. Übliche Werte T_v = 15 ns, T_h = 0 ns. Von diesen Bedingungen hängt die maximale Arbeitsfrequenz des Gerätes ab. Sie ist bei handelsüblichen Signaturanalysatoren größer oder gleich 10 MHz.

Der Eingangswiderstand der Datensonde liegt bei 50 kOhm. Dieser Wert ist dadurch bedingt, daß die Eingangsimpedanz einerseits nicht zu klein sein darf, damit die zu prüfende Schaltung nicht zu stark belastet wird, andererseits darf sie nicht zu groß sein, weil sonst die Leckströme eines Tristate-Bus störende Offsetspannungen erzeugen würden.

1.3. Prüfablauf

Bei der Prüfung eines Mikrorechnersystems (Bild 1.5.) mit einem Signaturanalysator geht man folgendermaßen vor (Bild 1.6.):

- Prüfung des Kerns der Mikroprozessorschaltung.
  Der Kern besteht aus dem Mikroprozessorschaltkreis einschließlich Stromversorgung und Taktgenerator, Dekodern, Bustreibern und Festwertspeichern (ROM), die durch Adreß-, Daten- und Steuerbus miteinander verbunden sind. Dieser Teil der Prüfung ist im sogenannten Freilaufzustand (siehe Abschnitt 3.2.1.) ausführbar, der kein Prüfprogramm erfordert, aber einige schaltungstechnische Maßnahmen voraussetzt.

  Die Vorzüge des Freilaufzustandes werden besonders offenkundig, wenn andere Prüfverfahren versagen (z. B. wenn sich das Selbsttestprogramm nicht starten läßt oder wenn das 1. Prüfprogramm im Prüfautomaten nicht anläuft).

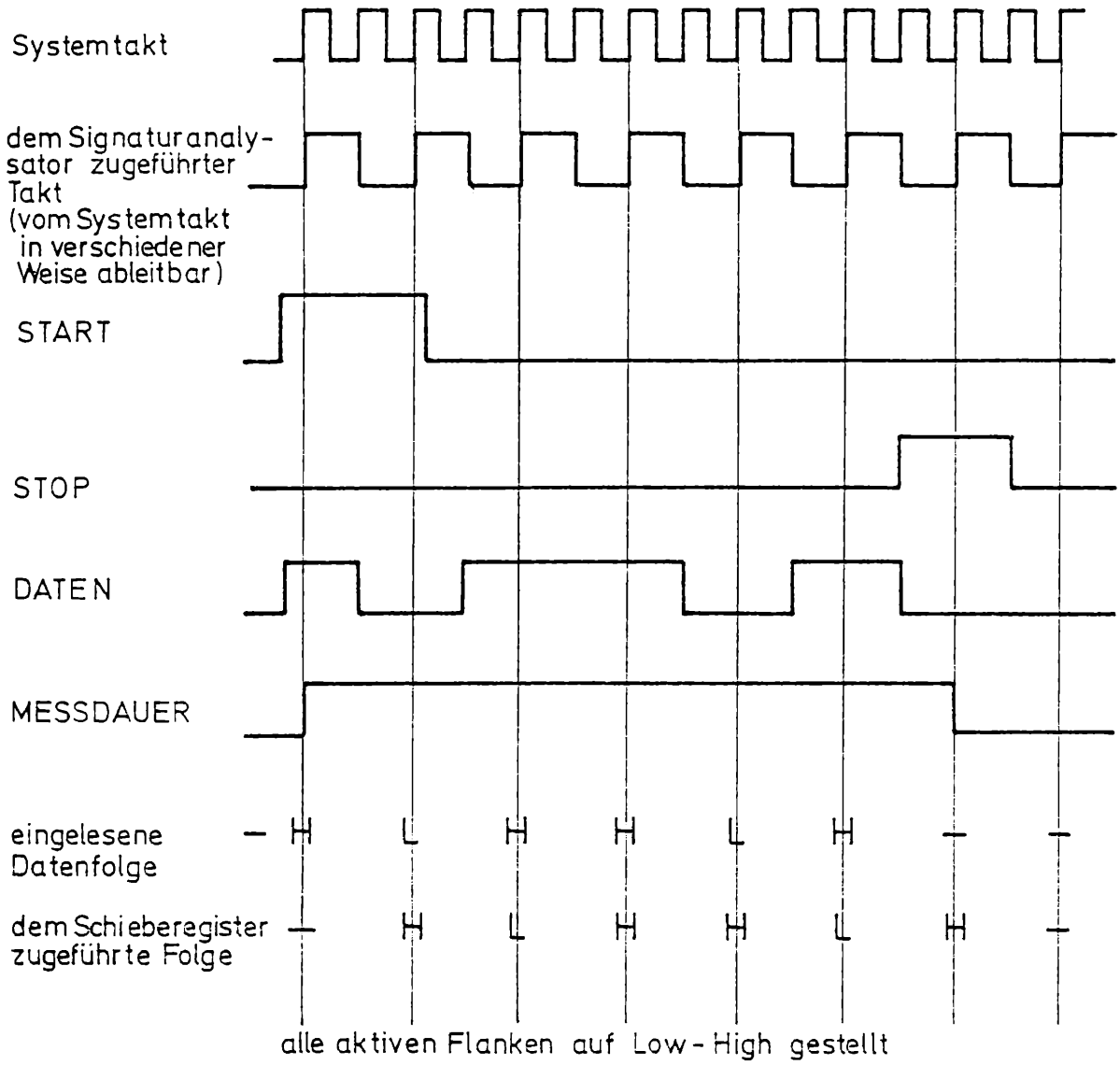


Bild 1.3 Zeitdiagramm eines Meßvorganges

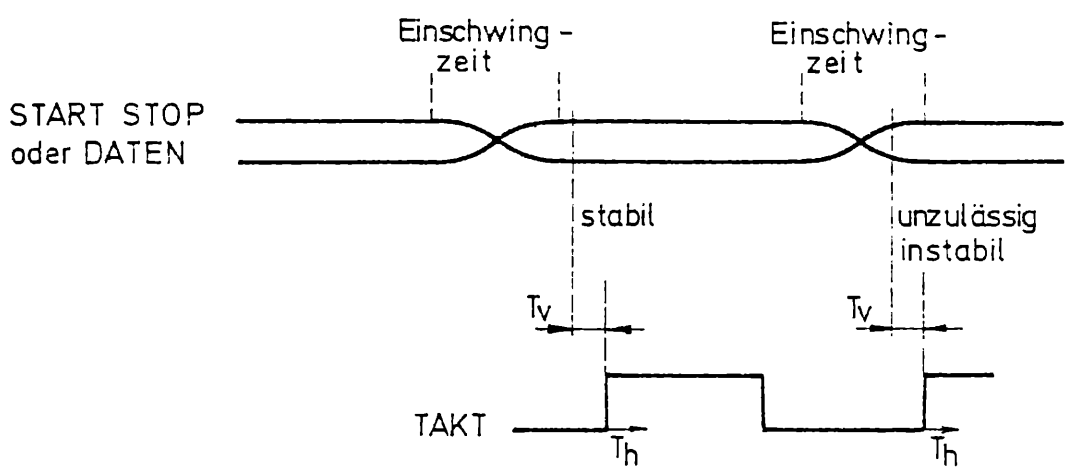
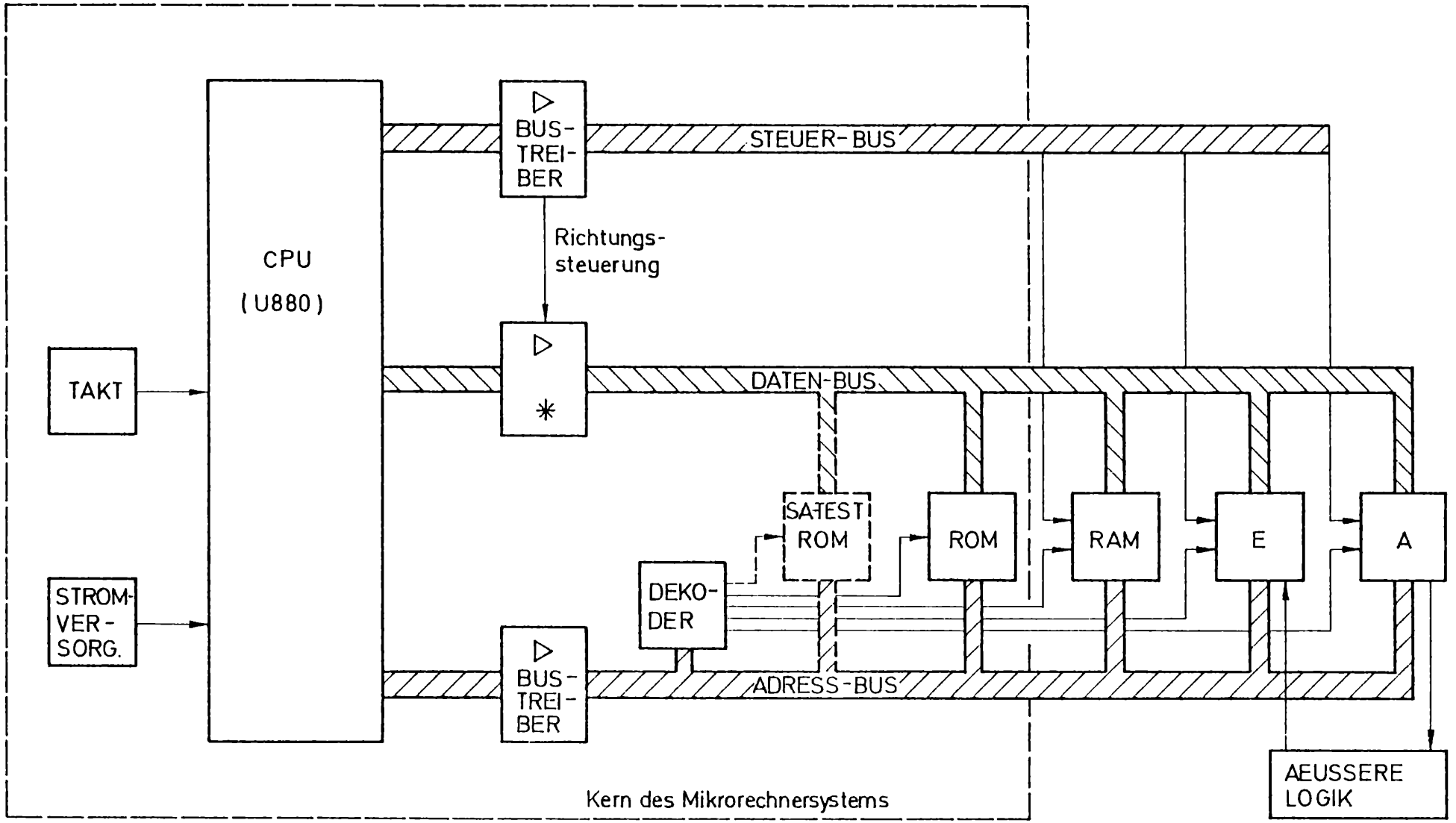


Bild 1.4 Voreinstell- und Haltezeit



* Schaltung zur Busauftrennung
und Herstellung des Freilaufzustandes

Bild 1.5 Mikrorechner

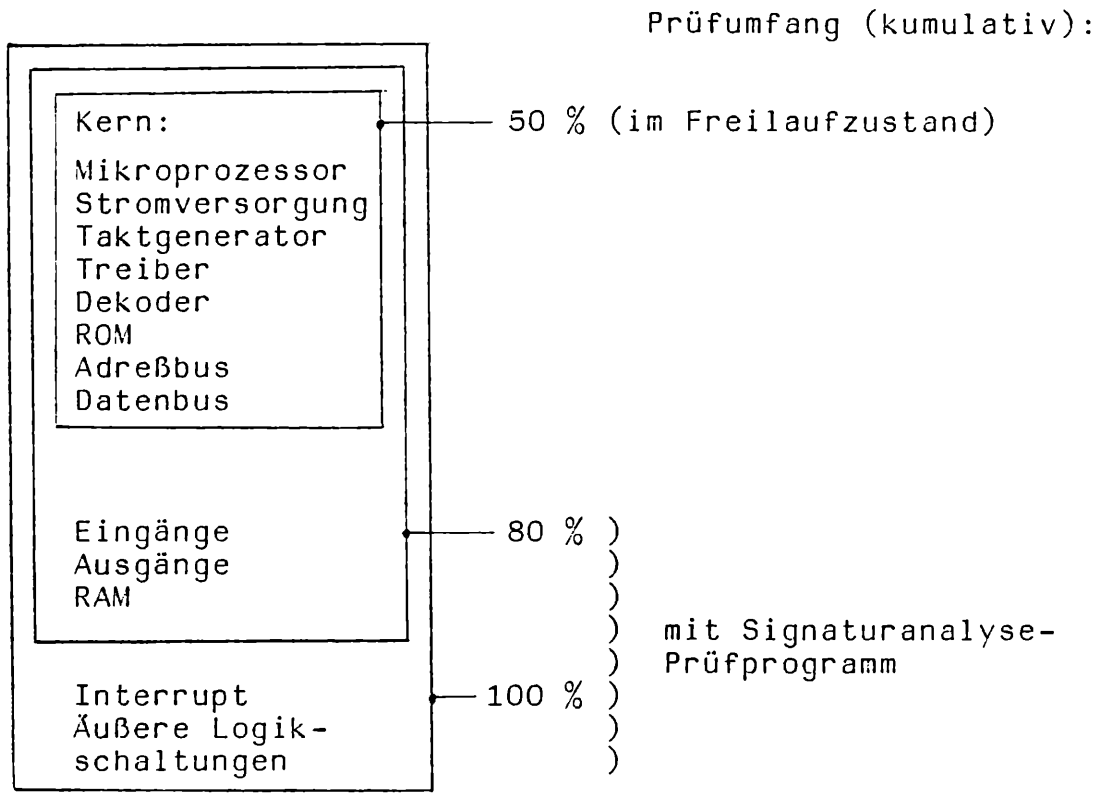


Bild 1.6. Prüfung eines Mikrorechnersystems mit Signaturanalyse (Prozentangaben sind Orientierungswerte)

- Prüfung der Ein- und Ausgänge und der Schreib-/Lese-Speicher (RAM), mit Hilfe eines speziellen Signaturanalyse-Prüfprogramms (Abschnitt 2.3.3.3.).

- Prüfung der äußeren Logik des Systems (Schaltungen außerhalb der Ein- und Ausgänge) und der Interruptschaltungen. Auch dafür sind Prüfprogramme notwendig.

Signaturanalyse-Prüfprogramme sind sehr einfache Programme mit einem Umfang von 50 ... 300 Befehlen, je nach Größe des Prüfobjektes. Die Prüfprogramme haben nur die Aufgabe zu erfüllen, auf jeder zu prüfenden Leitung einen oder mehrere Signalwechsel zu erzeugen. Anwenderprogramme oder Selbsttestprogramme sind als Signaturanalyseprogramme nicht brauchbar. Weitere Hinweise zum Prüfablauf sind in den Abschnitten 2. und 3.2.2. zu finden.

1.4. Vor- und Nachteile

Vorteile der Signaturanalyse:

- Die Signaturanalyse ermöglicht die Fehlerlokalisierung (auch für dynamische Fehler) bis zum defekten Bauelement.

- Defekte Baugruppen können mit diesem Verfahren in Kundendienstwerkstätten mit relativ billigen Prüfausrüstungen instandgesetzt werden. Man vermeidet das Zurücksenden defekter Baugruppen an den Produktionsbetrieb. Dadurch werden Kosten für Ersatzbaugruppen, Zollgebühren (im Auslandsservice), Transportkosten, Organisationsaufwand und Zeit eingespart.

- Die Signaturanalyse erfordert ein wesentlich geringeres Qualifikationsniveau des Prüfpersonals als andere Prüfverfahren. Die genauen Kenntnisse der Funktion des Prüfobjektes ist nicht Voraussetzung für die Fehlerlokalisierung, sofern eine gute Dokumentation vorhanden ist.

Nachteile der Signaturanalyse:

- Das Prüfverfahren muß bei der Erzeugnisentwicklung berücksichtigt werden. Das erfordert zusätzlichen Entwicklungsaufwand (2 ... 4 % der Entwicklungskosten).

- Bei geringfügigen Änderungen des Erzeugnisses (schaltungstechnische Änderungen oder Programmänderungen) kann ein großer Aufwand für die Änderung der Prüfdokumentation (siehe Abschnitt 4.) entstehen.

1.5. Ökonomie

Zur Abschätzung des Nutzens, der durch Anwendung der Signaturanalyse gegenüber möglichen Alternativlösungen bei einem Erzeugnis entsteht, sind die zusätzlichen Aufwendungen den zu erwartenden Einsparungen gegenüberzustellen (siehe Tabelle 1.2.).

Der erzielbare Nutzen wird von verschiedenen Randbedingungen beeinflußt, z. B.:

- Art des Erzeugnisses (transportables Gerät, stationäre Anlage, zulässige Stillstandszeit im Fehlerfall u. a.)
- Produktionstückzahlen, Qualität
- Verbreitungsgebiet (Exportländer, Transport, Zollgebühren)
- vorhandene Kundendienstorganisation (Ausrüstung der Kundendienstwerkstätten, Verfügbarkeit von Ersatzbaugruppen, Typenanzahl, Qualifikationsniveau.)

Tabelle 1.2.

Signaturanalyse: Hinweise zur Nutzensermittlung

	Aufwendungen	Einsparungen
Erzeugnis-entwicklung	- Zusätzlicher Entwicklungsaufwand: 2 ... 4 % der Erzeugnisentwicklungs-kosten. - Anschaffung von Signaturanalysatoren - Erarbeitung der Prüfprogramme und der Dokumentation für Prüfung und Fehler-lokalisierung (bei Neu- und Weiterent-wicklung und Änderung des Erzeugnisses)	Prüfprogramme für Signaturanalyse erfordern weniger als 10 % des Programmieraufwandes, der bei konven-tionellen Prüfverfahren entsteht.
Produktion, Prüffeld	- Anschaffung von Signaturanalysatoren - Qualifizierungsmaßnahmen	Fehlerlokalisierung mit Signaturanalyse ver-ringert Fehlersuchzeit gegenüber anderen Verfahren auf ungefähr 50 %; Anwendung der Signaturanalyse in Prüfautomaten ist möglich
Technischer Kundendienst	- Anschaffung von Signaturanalysatoren - Qualifizierungsmaßnahmen - Kosten für zusätzliche Ersatzteile - Aufwand für Wartung und Überarbeitung der Dokumentation für Prüfung und Fehlerlokalisierung	Einsparung von Ersatzbaugruppen, (Instand-setzung defekter Baugruppen in Kundendienst-werkstätten); Einsparung von Transportkosten, Zollgebühren; Zeiteinsparung; verringerter Organisationsaufwand; Einsparung von Garan-tiekosten

2. Regeln für den Schaltungsentwurf

2.1. Notwendigkeit der prüfgerechten Erzeugnisentwicklung

Bei der Fertigung elektronischer Baugruppen, Geräte und Anlagen zeigt es sich, daß mit zunehmender funktioneller Komplexität und wachsendem Integrationsgrad der relative Anteil der Prüfzeit an der Gesamtfertigungszeit kontinuierlich wächst. Dieser relative Anteil liegt für Erzeugnisse der Meßtechnik und der Rechentechnik bei 40 - 50 %.

Das bedeutet, daß eine prüfgerechte Erzeugnisentwicklung bereits in der Herstellungsphase zu beachtlichen Arbeitszeiteinsparungen führen kann und daß es eine objektive Notwendigkeit ist, diesen großen Zeitanteil durch gezielte wissenschaftlich-technische Maßnahmen zu reduzieren.

Ein ebenfalls beachtlicher Zeitfonds wird für Probleme des technischen Kundendienstes aufgewandt, wobei hier hinzukommt, daß Stillstandszeiten elektrischer Geräte und Anlagen zu ökonomischen Verlusten beim Anwender führen. Die Probleme der Prüf- und Servicefreundlichkeit können nicht dem Zufall überlassen werden, sondern müssen in der Phase der Geräteentwicklung zu einem möglichst frühen Zeitpunkt durchdacht werden, da in der Regel bestimmte Vorkehrungen zu treffen sind.

2.2. Allgemeine Regeln für einen prüf- und servicefreundlichen Entwurf

Unabhängig davon, ob als spezielle Prüfmethode die Signaturanalye angewendet werden soll, gibt es zahlreiche allgemeine Regeln für einen prüf- und servicefreundlichen Schaltungsentwurf, deren Applizierbarkeit in jedem Falle, insbesondere jedoch bei digitalen Schaltungen, geprüft werden sollte.

Nachfolgend werden einige wichtige Regeln genannt, wobei die Reihenfolge keiner Wertung gleichkommt:

- Gesamtschaltung in weitgehend voneinander unabhängige Teilschaltungen zerlegen.

  Hinsichtlich Prüffreundlichkeit ist die Zuordnung einer Leiterplatte je Teilschaltung optimal. Kann dies nicht realisiert werden (Zuverlässigkeitseinbuße, konstruktive Probleme), so sind Vorkehrungen für die selektive Inbetriebnahme oder Außerbetriebsetzung von Teilschaltungen auf einer großen Leiterplatte zu treffen.

- Rückführungen auftrennbar gestalten (Drahtbrücke, gewickelt oder gelötet). Dies gilt gleichermaßen für Analog- und Digitalschaltungen.

- Wenn möglich, Lichtemitterdioden auf Leiterplattem zur Unterstützung der Fehlersuche installieren, um zum Beispiel folgende Aussagen zu ermöglichen:

  Betriebsspannung vorhanden

  Takt vorhanden

  Ausgangssignale (z. B. Impuls) vorhanden.

  Wichtig ist, daß stets der fehlerfreie Zustand aktiv signalisiert wird, da andernfalls ein defektes Anzeigeelement eine unwahre Aussage liefert.

- Von außen zugängige Klemmen gegen grobe Fehlhandlungen schützen (Kurzschluß, Überspannung, Fremdspannung)

- Bauelemente, wie Widerstände, Kondensatoren etc, weit genug entfernt von integrierten Schaltkreisen anordnen, um das Aufsetzen von Clips auf den Schaltkreis zu ermöglichen.

- Lichtemitteranzeigen konstruktiv so anbringen, daß leichtes Auswechseln möglich ist.

- Nicht über Steckverbinder geführte Verbindungskabel so lang bemessen, daß Adaptierung der Leiterplatte über Adapterkarte nicht verhindert wird.

- Speiseanschlüsse für Prüfhilfsmittel (z. B. Logikprüfstift, Logikpulser, Stromprüfstift) vorsehen.

- Bei mikrorechnergesteuerten Geräten Programme für Selbsttest vorsehen, die nach dem Einschalten einmalig oder zyklisch durchlaufen werden und optisch dem Bediener die Funktionsfähigkeit der Anlage mitteilen.

- Falls Stromversorgung eine Mindestlast erfordert, Hilfslast (intern oder extern) vorsehen, um Betrieb auch dann zu sichern, wenn einige Leiterplatten gezogen sind.

- Das unbeabsichtigte Vertauschen von Leiterplatten (Leiterplatte auf falschem Steckplatz) darf keinen Defekt bewirken.

2.3. Entwurfsregeln für Digitalschaltungen mit Mikroprozessoren

2.3.1. Problemstellung

Moderne Digitalschaltungen kommunizieren in irgendeiner Form mit Mikroprozessoren oder enthalten diesen Baustein selbst.

Die in der Analogtechnik übliche Praxis, die Fehlersuche durch Schaltungsbeschreibungen zu unterstützen, wird bei derartigen Schaltungen fragwürdig, da Hardware in großem Umfang durch Software ersetzt ist. Außerdem dominiert eine dynamische Arbeitsweise, d. h. Signale sind nur kurzzeitig aktiv (z. B. Tastatur mit Zeit-Interrupt).

Erschwerend bei der Fehlersuche wirkt sich ferner aus, daß Datenleitungen zum einen bidirektional, zum anderen oft im Zeitmultiplex genutzt werden (z. B. Zeitmultiplex von Daten und Statussignalen beim Mikroprozessor 8080).

Für mikrorechnergesteuerte Schaltungen sind folgende Fehlergruppen typisch:

- Steuerfehler, die durch den Mikroprozessor verursacht werden
- Interfacefehler in den Bauelementen der Nahtstelle zwischen Rechner und Außenwelt

- Fehler in den vom Rechner gesteuerten Schaltungen

Dabei äußern sich Fehler der letztgenannten Art meist durch Absprung in einen falschen Programmabschnitt oder durch "Hängenbleiben" in einer Programmschleife.

Besonders gefährdet in dieser Hinsicht sind Hard-/Software-Konfigurationen, bei denen große Teile des Programms nach einer Initialisierung von externen Datenträgern in den RAM-Bereich des Rechners geladen werden (Beispiele: Prüfautomaten und Rechner der Serie K 1600 des VEB Kombinat Robotron). Ein undefinierter Sprung führt dabei meist zu einer völligen Zerstörung des Programms, da eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür besteht, daß auf der angesprungenen Adresse ein Schreibbefehl steht bzw. das dort stehende Daten-Byte als Schreibbefehl interpretiert wird.

Ebenfalls gefährlich sind Absprünge in hardwaremäßig nicht vorhandene Speicherbereiche. Einen solchen Absprung interpretiert zum Beispiel der Schaltkreis U 880 bzw. Z 80 wegen der Hochpegel auf DØ bis D7 als Befehl RST 38 H. Dadurch springt er nach Kellern des Befehlszählerinhaltes (d. h. Ablegen im Kellerspeicher) zur Adresse 38 H und führt den dort stehenden Befehl aus. Dieser Vorgang wiederholt sich in der Regel zyklisch, so daß sich der Kellerspeicher über den ganzen RAM-Bereich ausdehnt.

Ein geeignetes Mittel zur Lokalisierung derartiger Fehler ist der Logikanalysator. Seine Anwendung stellt jedoch hohe Ansprüche an die Qualifikation des Prüfers und ist für den Service nicht zu empfehlen.

Auch in der Sphäre der Produktion sollte sein Einsatz auf die Ortung komplizierter Fehler beschränkt bleiben.

Eine Strategie, die den Forderungen der Endprüfung in der Fertigung und des technischen Kundendienstes gleichermaßen gerecht wird, basiert auf den drei Wegen:

- Signaturanalyse
- Selbst-Test (residente Diagnoseprogramme)
- Adreßbilddarstellung (Mapping)

Die dafür geltenden Entwurfsregeln werden im folgenden erläutert, wobei in der Regel der Mikroprozessor U 880 bzw. Z 80 als Beispiel herangezogen wird.

2.3.2. Entwurfsregeln für Anwendung der Signatur-Analyse /4;6/

Die effektive Anwendung der Signaturanalyse, die eine Ausschöpfung aller Vorzüge erlaubt, basiert auf den folgenden Grundregeln:

- Lege den Gerätekern in geeigneter Weise fest
- Treffe Vorkehrungen für die Auftrennung von Rückführungen
- Sichere die Initialisierung aller zu testenden Leiterplatten
- Stabilisiere die Signaturen von Tristate-Ausgängen
- Führe Buch über Signaturen.

Die Wechselwirkung zwischen einigen von diesen Forderungen sind so stark, daß eine Grundregel nur auf Kosten anderer Regeln erfüllt werden kann, so daß von Fall zu Fall Kompromisse zu schließen oder entsprechende Hardwarezusätze vorzusehen sind. Hinzu kommt, daß sich seit der Formulierung der o. a. klassischen Regeln auf dem Mikroprozessorsektor mit der Einführung des Einchip-Rechners eine Entwicklung vollzogen hat, die eine Realisierung bestimmter Forderungen (z. B. Auftrennung Datenbus) ohnehin ausschließt oder nur in Ausnahmefällen gestattet.

Festlegung des Kerns

Ideal wäre ein aus Taktgenerator und Mikroprozessor bestehender Kern, der sich auf einer Leiterplatte befindet, denn damit ließe sich die Datenbus-Auftrennung durch eine Adapter-Steckkarte bewirken. Eine derartige Forderung kann nicht ernsthaft in Betracht gezogen werden, da ein solcher Kern nur aus 1 - 3 Schaltkreisen bestünde.
Als Kern muß daher ein Teil einer OEM-Karte gängigen Formats vorgeschlagen werden, die außer den Elementen des Kerns

- Mikroprozessor
- Taktgenerator
- Festwertspeicher (ROM)

noch andere Schaltungskomplexe, wie z. B. Schreib-/Lesespeicher (RAM), Ein-/Ausgabebaustein und Zähler-/Zeitgeber-Bausteine enthält.

Dies erfordert als Zusatz-Hardware eine Busauftrennung mit Freilauf-Beschaltung, um die Erfüllung der 2. Regel (Auftrennung von Rückführungen) sicherzustellen. Die Bilder 2.1. und 2.2. zeigen den Vorschlag für einen geeigneten Kern mit dem Mikroprozessor U 880. Abweichend von der üblichen Empfehlung, den Freilauf durch Aufzwingen des Befehls NOP zu erzwingen, wurde in Bild 2.2. der Befehl LD A,A benutzt. (Tiefpegel auf DB7, Hochpegel auf DBØ ... DB6).

Dieser Befehl ist ebenfalls 4 Takte lang, hat keine Wirkung nach außen (A wird in A kopiert), benötigt aber nur einen einzigen Schalter. Dahingegen sind zum Aufzwingen des NOP-Befehls 8 Schalter erforderlich.

Auftrennung von Rückführungen

Eine sinnvolle Anwendung der S. A. ist nur möglich, wenn alle Arten von Daten-Rückführungen auftrennbar gestaltet wurden, da andernfalls ein Fehler innerhalb der Gesamtschleife nicht mehr geortet werden kann. In Mikrorechner-Geräten ist der Datenbus die Hauptrückführung, da er folgende Schleifen schließt:

- Prozessor - ROM/RAM - Prozessor
- Prozessor - Port-Prozeß-Port-Prozessor.

Dazu kommen weitere Steuerleitungen zum Prozessor, die Rückführungscharakter besitzen können und über deren Auftrennung von Fall zu Fall zu entscheiden ist. Dazu gehören beim U 880 beispielsweise Signal-Leitungen, wie INT, WAIT, BUSRQ, RESET, NMI.

In konventionellen Digitalschaltungen treten Rückführungen in allen sequentiellen Schaltungen auf. Hier kann nicht mehr empfohlen werden, grundsätzlich jede Rückführung durch Drahtbrücken auftrennbar zu gestalten, da dies eine extreme Verschlechterung der Zuverlässigkeit zu Folge hätte. Hier sollte man sich auf Rückführleitungen grösserer Komplexe beschränken, wie z. B. bei Ringzählern, rückgekoppelten Schieberegistern etc..

Die konstruktiv-elektrische Gestaltung der Auftrennung von Rückführungen richtet sich nach den verfügbaren Bauelementen (Mikroschalter, Drahtbrücken).

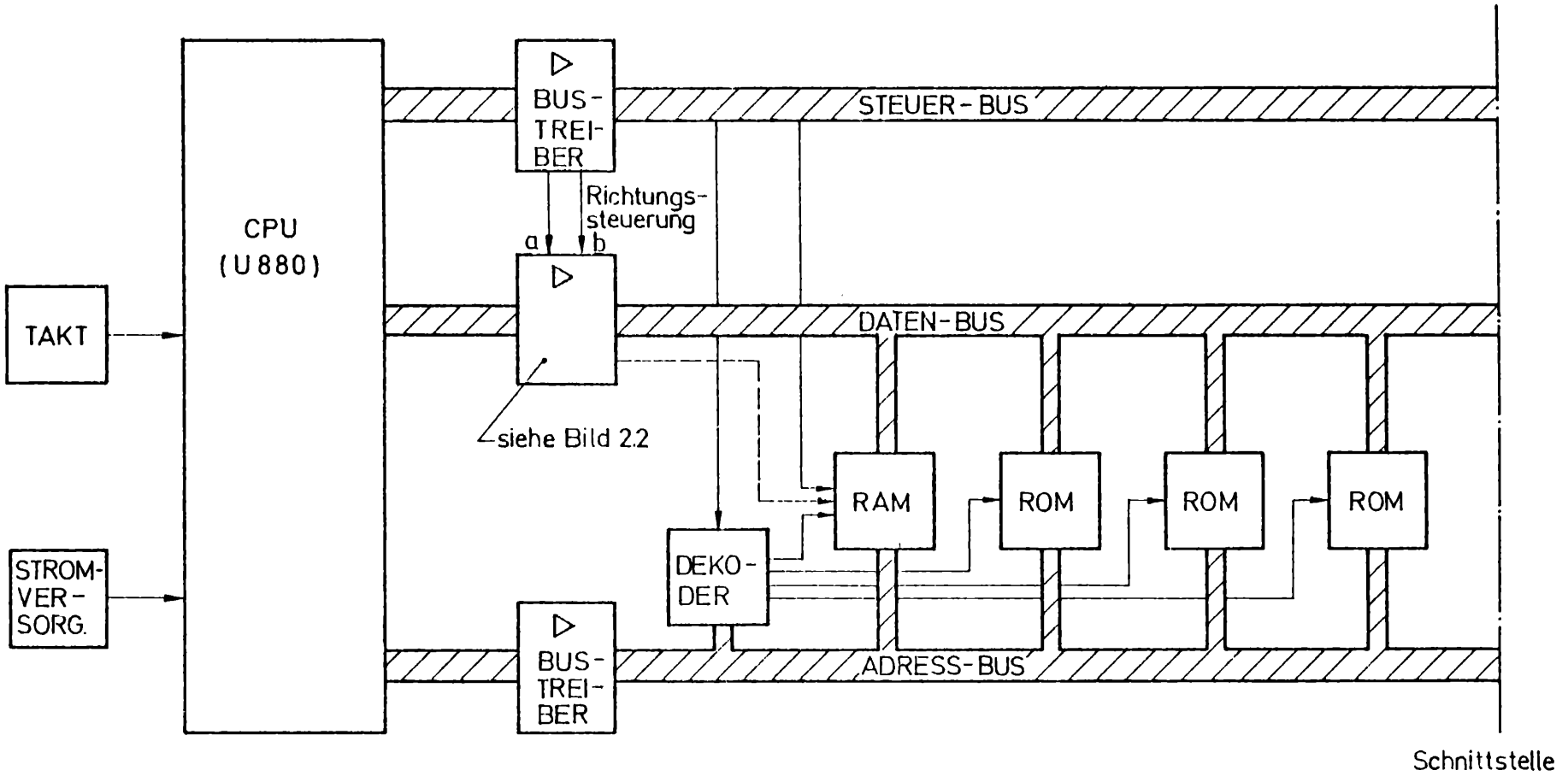


Bild 2.1 Mikrorechner

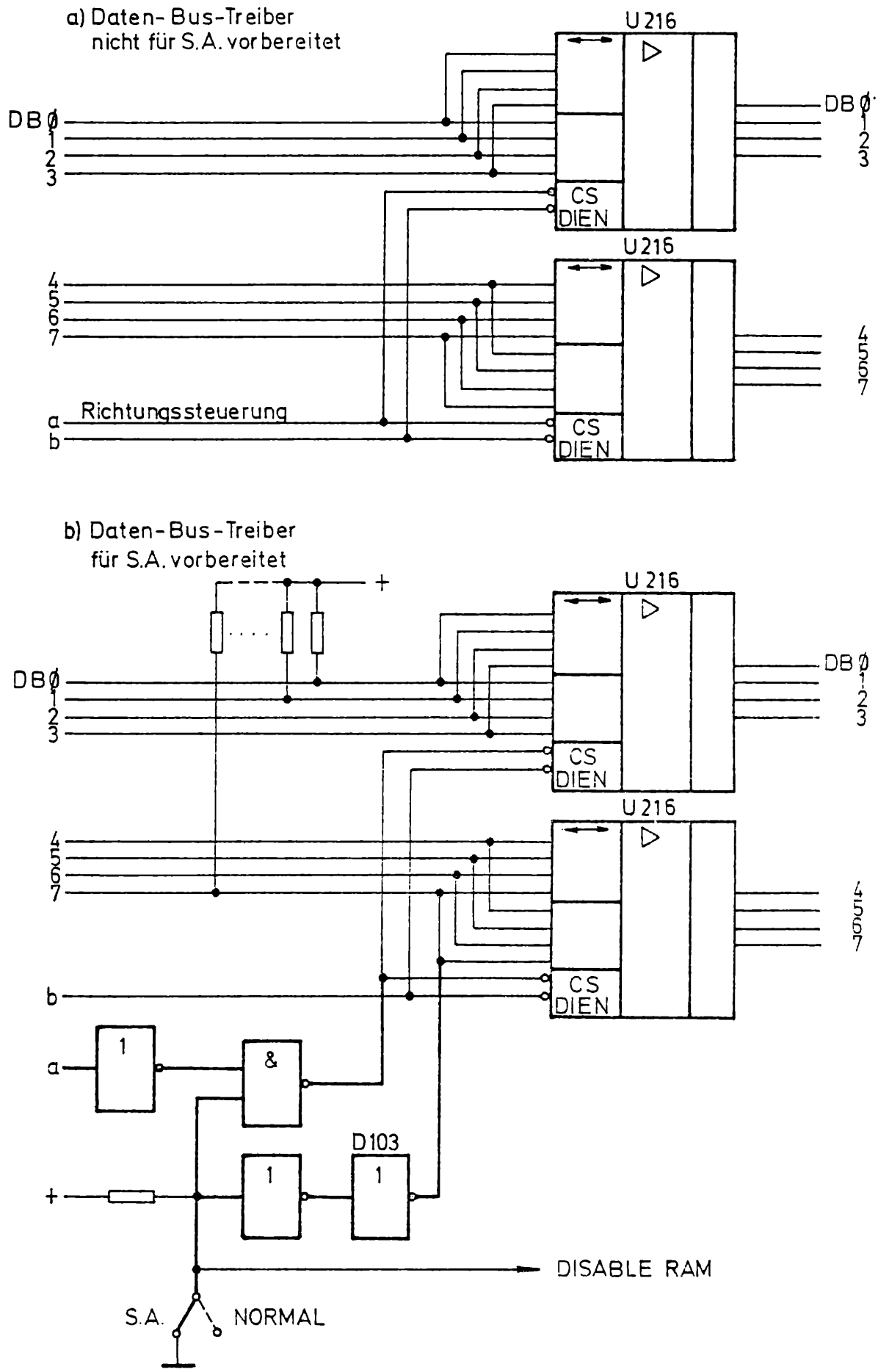


Bild 2.2 Varianten für Daten-Bus-Treiber

Busauftrennungen sollten so gestaltet werden, daß sämtliche Leitungen durch ein einziges elektrisch-mechanisches Kontaktbauelement geschaltet werden. Da in vielen Fällen der Datenbus über einen bidirektionalen Bustreiber (z. B. 8216) gepuffert wird, empfiehlt es sich, die CS-Leitung zur Steuerung zu verwenden, da CS- High unabhängig vom Richtungssteuersignal den Datenverkehr in beiden Richtungen unterbricht (alle Ausgänge hochohmig). Einen Schaltungsvorschlag dazu zeigt Bild 2.2..

Initialisierung

Konventionelle Digitalschaltungen bedingen in der Regel ein Rücksetzsignal, das von außen zugeführt oder bei "Netz ein" automatisch in der Schaltung erzeugt wird. Auch ein Mikroprozessor fordert für einen definierten Start das Anlegen des Signals "RESET" nach dem Einschalten.

Moderne Schaltungen enthalten jedoch in der Regel LSI-Schaltkreise, die erst nach Programmierung mit einer Befehlssequenz arbeitsfähig sind. Beispielsweise sind zur Initialisierung des PIO-Schaltkreises U 855 D in Mode 3 8 Befehle erforderlich, die auf zwei Tabellen mit je 5 Byte Länge zurückgreifen. Dabei kann es für Zwecke der Signaturanalyse zweckmäßig sein, ein vereinfachtes Initialisierungsprogramm zu verwenden.

Selbstverständlich können derartige Schaltkreise nur in die Signaturanalyse einbezogen werden, wenn die softwaregesteuerte Betriebsart verwendet wird, da alle Ein-Ausgabebefehle eine Länge von zwei Byte haben.

Tristate-Ausgänge

Stabile und reproduzierbare Signaturen kann man nur erhalten, wenn die für eine bestimmte Signatur an den zugehörigen Knoten maßgeblichen logischen Schaltungen nur die definierten Zustände "Hoch" oder "Tief" annehmen können. Liegen in dem Datenweg Elemente mit Tristate-Ausgang, so ist deren Pegel im Zustand "Hochohmig" unbestimmt, wenn keine Vorkehrungen getroffen werden.

Die übliche Praxis zur Vermeidung dieses unbestimmten Zustandes besteht in der Verwendung von Pull-Up-Widerständen, die zwischen Tristate-Ausgang und Versorgungsspannung geschaltet sind und einem hochohmigen Ausgang den Zustand "Hoch" zuordnen. Ebenfalls möglich, aber aus Gründen des Strombedarfs weniger üblich, sind Pull-Down-Widerstände.

Ist der zu prüfende Ausgang der einzige Tristate-Ausgang im ganzen Datenweg, so kann die Stabilisierung des Pegels durch die Datensonde des Signaturanalysators erfolgen.

Schließlich besteht eine weitere Möglichkeit zur Stabilisierung von Tristate-Ausgängen darin, das START-STOP-Fenster so auszuwählen, daß während dieses Zeitabschnittes der Zustand "Hochohmig" nicht auftritt. Dies wird jedoch nur in Ausnahmefällen möglich sein. Moderne Signaturanalysatoren enthalten deshalb 2 Komparatoren mit starker Hysterese, so daß beim Übergang zum hochohmigen Zustand stets der zuvor gültig gewesene Pegel für die Bildung der Signatur benutzt wird.

Buchführung (Dokumentation)

Eine exakte Dokumentation verfolgt zwei Ziele, nämlich zum einen die Ermittlung der Soll-Signaturen und zum anderen eine gewisse Unterstützung bei der Fehlerlokalisierung.

Theoretisch lassen sich die Soll-Signaturen berechnen, wenn entsprechende Rechenprogramme erstellt werden. Dabei ist jedoch nicht gesagt, ob die errechneten Signaturen tatsächlich auftreten und ob sie stabil sind. Dies ist durch die dynamische Arbeitsweise des Systems bedingt. International üblich ist daher die experimentelle Ermittlung der Soll-Signaturen an mehreren Mustern der Pilot- oder Erstserie. Der Vertrauensgrad einer so ermittelten Signatur kann außerdem erhöht werden, wenn Vorkehrungen zur Änderung der Taktfrequenz getroffen werden, beispielsweise durch die Möglichkeit der Taktfremdeinspeisung. Ändert sich eine Signatur, wenn die Taktfrequenz beispielsweise halbiert wird, so liegen kritische Zeitbedingungen vor, die in der Regel durch Umladevorgänge oder fehlende Pull-Up-Widerstände verursacht werden.

Obwohl die Signaturanalyse ein praktisches Mittel zur Fehlerlokalisierung darstellt, bietet sie keine Möglichkeit, aus der Signatur selbst eindeutig auf die Fehlerursache zu schließen. Der Grund dafür besteht darin, daß eine Signatur eine stark komprimierte Größe darstellt, wobei sich viele unterschiedliche Fehler durchaus in einer gleichen Signatur äußern können.

Andererseits kann jedoch ein sorgfältig geführter Fehlerkatalog, der Auskunft gibt, durch welche Signaturen sich bestimmte Bauelemente- oder Fertigungsfehler geäußert haben, Unterstützung bei der Fehlersuche geben. Der häufig geäußerte Wunsch, durch Simulation aller möglichen Fehler, ein vollständige Fehlerhandbuch zu schaffen, läßt sich jedoch mit vertretbarem Aufwand nicht realisieren.

2.3.3. Ausgewählte Entwurfshinweise

2.3.3.1. Bus-Strukturen

Die Leistungsfähigkeit festprogrammierter Steuerungen und mikrorechnergesteuerter Geräte basiert in hohem Maße auf der Anwendung des Bus-Systems.

Obwohl solche Strukturen bei reiner Betrachtung der Hardware sehr einfach und übersichtlich aussehen, liegt häufig ein äußerst komplexer Datenverkehr vor, und von außen ist nicht ersichtlich, welche Funktionseinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einer anderen Funktionseinheit oder der Steuereinheit in Wechselwirkung tritt. Die Fehlerortung in einem Bus-System kann deshalb außerordentlich schwierig und zeitaufwendig und ohne geeignete Hilfsmittel zuweilen auch unmöglich sein. Die verbreitete Annahme, wenn alle Funktionseinheiten für sich geprüft und in Ordnung befunden werden, müsse auch das Gesamtsystem funktionieren, ist in der Regel falsch. Die Ursachen dafür liegen in ungünstigen Zeitbedingungen, nicht eingehaltenen Lastbedingungen, Kontaktproblemen etc..

Eine weit wirksamere Strategie besteht darin, zuerst den nach 2.3.2. festgelegten Kern zu prüfen und ihn anschließend Schritt für Schritt zu erweitern.

Dies kann bei einem Bus-System mit vielen Steckeinheiten geschehen, indem nacheinander alle Karten gesteckt und gleichzeitig Signaturprüfungen auf dem Bus durchgeführt werden, bis die fehlerhafte Steckeinheit gefunden worden ist.

Diese Strategie läßt sich durch ein zusätzliches Service-Hilfsmittel, nämlich einen Zwischenadapter mit Schaltern in den Adreß-, Daten- und Steuerleitungen unterstützen. Durch sukzessives Schließen der einzelnen Leitungen läßt sich dann oft die fehlerverursachende Busleitung eliminieren.

Wie bereits in Abschnitt 2.3.2. erwähnt, müssen Bus-Leitungen mit Pull-Up-Widerständen versehen werden, um stabile Signaturen zu erhalten. Praktisch erprobte Widerstandswerte liegen im Bereich 5 ... 20 kOhm je nach Lastbedingung und Bus-Kapazität.

Bei langen Bus-Leitungen (große Bus-Kapazität) kann es sein, daß zur Sicherung kurzer Umladezeiten ein so kleiner Widerstandswert erforderlich wird, daß zulässige Lastbedingungen überschritten werden.

In solchen Fällen empfiehlt sich die Verwendung eines Bus-Wächters, der alle Leitungen zu den Zeitpunkten, da keine Funktionseinheit auf den Bus zugreift, auf einen definierten Pegel legt.

Dazu sind beispielsweise über Dekoder angesteuerte Schaltkreise mit offenem Kollektor ohne Pull-Up-Widerstand geeignet, da sie in diesem Fall am Ausgang die Zustände "Tief" und "Hochohmig" annehmen.

Eine weitere Möglichkeit zur Ausschaltung undefinierter Pegel auf den Bus besteht darin, das Taktsignal zu toren, so daß Taktsignale ausgeblendet werden, solange der Datenbus hochohmig ist oder asynchrone Funktionseinheiten (z. B. periphere Geräte über Interrupt) auf den Bus zugreifen.

Dies kann z. B. durch konjunktive Verknüpfung des Taktsignals mit dem Signal MEMRQ (für U 880) erfolgen. Da der Signaturanalysator

den eingelesenen Datenstrom mit dem Taktsignal verknüpft, akzeptiert er in diesem Falle nur Daten, die während der Speicherfreigabe (MEMRQ aktiv) eintreffen.

2.3.3.2. Festwertspeicher (ROMs)

Das Grundprinzip des ROM-Tests besteht darin, nacheinander den gesamten zulässigen Adreßvorrat anzulegen und dabei die Ausgangs-Daten zu prüfen.

Dazu gibt es neben der Signaturanalyse in der freilaufenden Betriebsart noch andere Möglichkeiten. Ein oft angewandtes Prinzip besteht darin, sämtliche Daten durch einen Algorithmus derart zu komprimieren, daß eine charakterisitische Prüfzahl übrigleibt. Dies kann durch Summation, fortlaufende Exklusiv-Oderung oder andere Methoden geschehen. Bei Einsatz des Mikroprozessors U 880 bzw. Z 80 wird folgendes Prinzip empfohlen: Irgendwo an geeigneter Stelle des in einem ROM abgespeicherten Programms wird die Befehlssequenz JR $+3, NOP untergebracht, die drei zusätzliche Bytes erfordert und ohne Wirkung ist. Nach Ermittlung der 2er-Komplement-Summe S wird der NOP-Befehl durch die Zahl -S+n ersetzt. Darin ist n die Nummer des ROM-Schaltkreises (z. B. 1 für 1. KByte, 2 für 2. KByte usw.). Bei fehlerfreiem ROM-Schaltkreis ergibt sich der spätere zyklische ROM-Test immer die ROM-Nr. n, unabhängig von bestimmten Programm-Varianten oder -Änderungen, so daß keine variantenspezifischen Testprogramme erforderlich sind.

Das Prinzip versagt, wenn ein ROM-Fehler ausgerechnet in dem ROM-Bereich auftritt, der das Testprogramm enthält (die Wahrscheinlichkeit dafür liegt im Promillebereich). In diesem Falle hilft nur die Signaturanalyse, wobei die START-STOP-Signale aus den Ausgangssignalen der jeweiligen Adreßdekoder-Schaltkreise zu gewinnen sind. Dadurch entsteht ein Adreßfenster, das bei freilaufendem Betrieb solange geöffnet ist, wie Adressen des zu prüfenden ROM-Schaltkreises aufgerufen werden.

Diese Methode führt mit Sicherheit zum Ziel, Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß zur Prüfung eines 32-K-Byte ROM-Bereiches (Beispiel Prüfautomaten LPA 201, 211 des VEB Kombinat Robotron) insgesamt 80 Signaturen mit 10 verschiedenen START-STOP-Anschaltungen zu überprüfen sind.

Man sollte deshalb von dieser Methode erst dann Gebrauch machen, wenn der (stets zu empfehlende) ROM-Selbsttest nicht zum Ziel führt.

Ein weiteres elegantes Prinzip besteht in der Kombination der Signaturanalyse mit einem speziellen Selbsttestprogramm. Dieses Programm springt an den Anfang zurück, wenn es den ersten Prüfsummenfehler erkennt, so daß die aktuelle Programmlänge Auskunft über die Nummer des fehlerhaften ROMs gibt.

Die aktuelle Programmlänge wird bestimmt, indem die Datensonde auf Hochpegel gelegt wird und die START-/STOP-Eingänge mit einer Leitung verbunden werden, die einmal je ROM-Zyklus ihren Zustand ändert (z. B. ein höherwertiges Adreßbit). Die den jeweiligen ROM-Nummern zugeordneten fehlerhaften Signaturen sind in der Entwicklungsphase zu bestimmen, indem nacheinander in jedem Schaltkreis ein Fehler simuliert wird.

2.3.3.3. Schreib-/Lesespeicher (RAMs)

Die Prüfung statischer RAM-Bereiche mit Hilfe des Signaturanalysators im Freilaufzustand ist nicht möglich, da der Speicher nach dem Einschalten einen zufälligen Dateninhalt annimmt. Es wäre denkbar, nach dem Einschalten zunächst ein Initialisierungsprogramm zu durchlaufen, das alle RAM-Zellen definiert setzt, bevor in den Freilaufzustand umgeschaltet wird. Damit würde man jedoch nur eine der möglichen RAM-Fehlertypen erkennen.

Besser ist die Anwendung der Signaturanalyse in der softwaregesteuerten Betriebsart, wobei ein kleines Selbsttestprogramm den RAM-Bereich auf folgende Eigenschaften testen sollte:

- die Fähigkeit, eine logische Ø oder 1 in jede Speicherzelle zu schreiben und aus jeder Speicherzelle zu lesen
- das Fehlen jeglicher Wechselwirkung zwischen zwei RAM-Zellen
- die ordnungsgemäße Arbeitsweise aller Eingangs-, Ausgangs- und Steuerleitungen
- die eindeutige Adressierbarkeit jedes Bytes.

Für derartige Prüfungen sind verschiedene Algorithmen bekannt, wie zum Beispiel:

- wandernde logische 1 und wandernde logische Ø
- Abspeichern des niederwertigen Adreßbytes
- Kopieren des ROM-Inhaltes in den RAM-Bereichen

Auch hier kann in einer Kombination von Signaturanalyse und Selbsttest wie bei der ROM-Prüfung ein Programm aufgebaut werden, das beim ersten erkannten Fehler an den Programmanfang zurückspringt, so daß die aktuelle Programmlänge Auskunft über den Fehlerort gibt.

Da jedoch gegenwärtig Schreib-/Lesespeicher noch bitorientiert aufgebaut sind (z. B. U 202 1K x 1 Bit), gibt die nach obigem Prinzip gewonnene Signatur noch keine Auskunft, welcher von 8 bzw. 16 RAM-Schaltkreisen defekt ist. Im Gegensatz zum ROM-Test sollte deshalb das RAM-Selbsttestprogramm einen Zusatz erhalten, der die fehlerhafte Bitposition innerhalb eines Datenbytes ermittelt. Dies kann sehr einfach geschehen, wenn man wie oben vorgeschlagen, das niederwertige Adreßbyte in der durch ebendieses Byte adressierten Zelle abspeichert. Eine Exclusiv-Oderung von Daten- und Adreßbyte liefert dann direkt die fehlerhafte Bitposition und somit den defekten RAM-Schaltkreis. Dynamische RAMs lassen sich in gleicher Weise prüfen, wenn das Auffrischen wie beim Mikroprozessor U 880 automatisch in jedem M1-Zyklus erfolgt. Probleme treten auf, wenn Mikroprozessoren eingesetzt werden, die nicht über diese Eigenschaft verfügen, und die entsprechende Auffrischlogik nicht taktsynchron arbeitet.

Ebenfalls problematisch in dieser Hinsicht ist DMA-Betrieb, da hier ein asynchroner Zugriff auf den Bus erfolgt, so daß Auffrischzyklen unterschiedlicher Dauer entstehen.

Für die beschriebenen Ausnahmefälle sei auf die Spezialliteratur verwiesen.

2.3.3.4. Dekodierschaltungen

Dekoder werden üblicherweise durch kombinatorische Logik realisiert, wobei die Adreßsignale in der Regel je nach Funktion mit bestimmten Steuersignalen (z. B. MEMRQ, IORQ beim U 880) konjunktiv verknüpft werden.

Die Signaturanalyse kann daher problemlos in der freilaufenden Betriebsart angewendet werden.

Eine Überprüfung von Dekodierschaltungen auf richtige Funktion ist sehr wichtig, weil Fehler in diesem Bereich zum Aufruf falscher Speicher oder Ports führen können oder überhaupt kein Zielobjekt angesprochen wird.

2.3.3.5. Asynchrone Schaltungen

Als asynchron sollen alle Schaltungen bezeichnet werden, bei denen der zeitliche Beginn und/oder der zeitliche Abschluß einer Funktion in keiner vorhersagbaren Beziehung zum Taktsignal oder zum Programm steht. Dazu gehören beispielsweise:

- Monoflops
- Ein-/Ausgabeschaltungen
- Interrupterzeugende Schaltungen
- Busanfordernde Schaltungen.

Da sich derartige Schaltungen nicht vermeiden lassen, sind Wege für ihre Prüfung zu suchen. Dazu bieten sich zunächst Möglichkeiten des Selbsttests an, die an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden. Soll die Prüfung mit Hilfe der Signaturanalyse erfolgen, so ist eine programm- und taktbezogene Zwangs-

synchronisation und somit zusätzlicher Aufwand an Hardware unumgänglich. Es ist daher zweckmäßig, an der Ein-Ausgabe-Schnittstelle einige zusätzliche Leitungen vorzusehen, die zur Bit-Aus- bzw. -Eingabe genutzt werden können. In den folgenden Abschnitten werden einige Anregungen gegeben. Für Detailprobleme muß auf die Spezialliteratur verwiesen werden.

2.3.3.6. Monoflops

Klassische Monoflops, bei denen die Dauer des Einzelimpulses durch die Entladung eines Kondensators bestimmt wird, sollten nach Möglichkeit vermieden werden. Als moderne Ersatzlösungen bieten sich an:

- programmierbarer Zeitgeberschaltkreis
  (z. B. U 857 D bzw. Z 80-CTC)

- Softwarelösung mit Bit-Ausgabe
  (z. B. über PIO-Schaltkreis U 855 D bzw. Z 80-PIO)

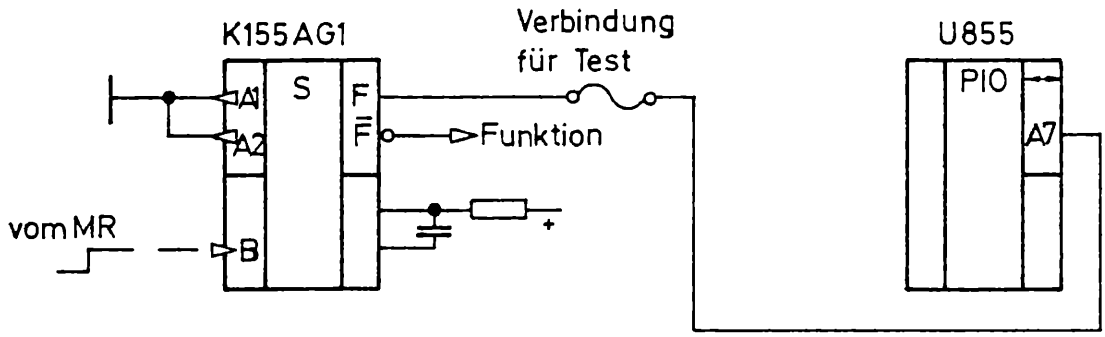
Durch derartige Lösungen wird ein starrer Bezug zum Programm und zum Taktsignal realisiert.

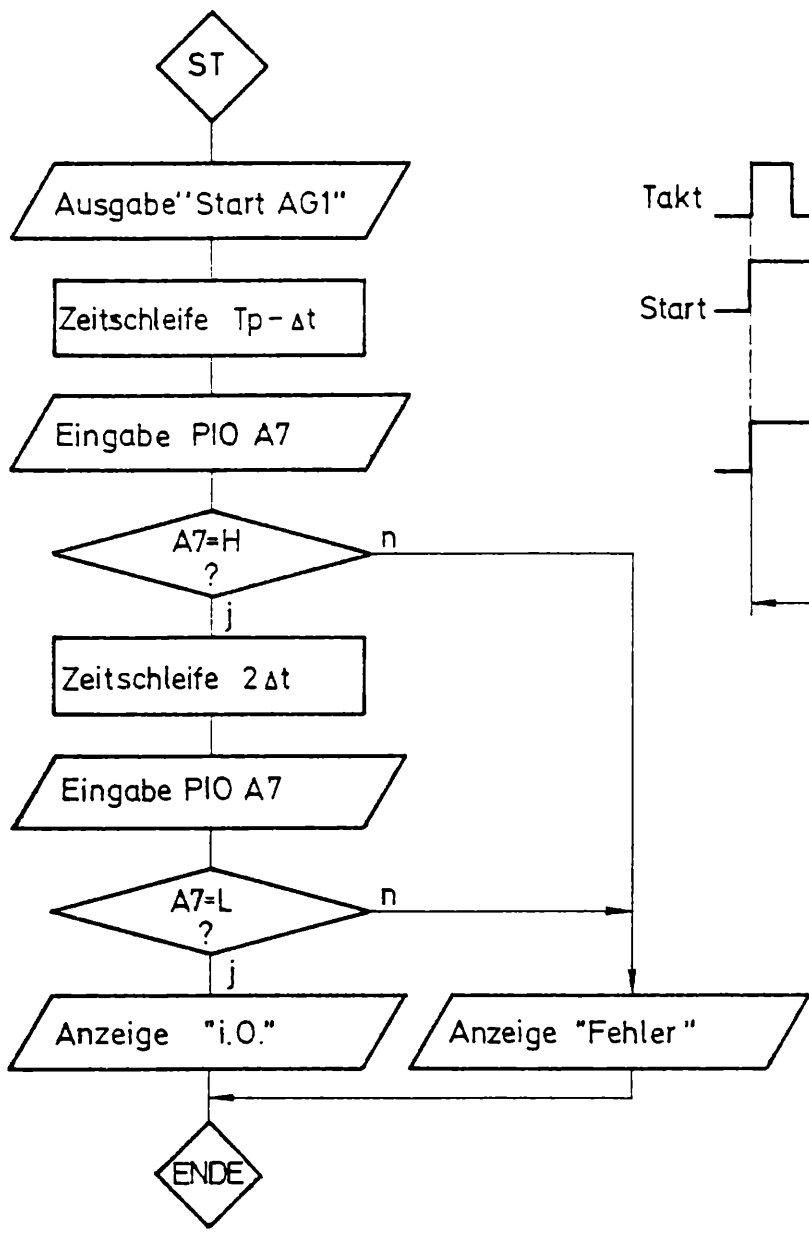
Klassische Monoflops können Mittels S. A. nur dann geprüft werden, wenn die Impulsdauer nur wenige Taktperioden beträgt und die Auslösung über den Mikrorechner erfolgt.

Bei großen Impulslängen und Start-Auslösung durch den Mikrorechner ist ein Selbsttest möglich, wenn für Prüfzwecke eine Verbindung zwischen dem Ausgang des Monoflops und einem freien PIO-Anschluß hergestellt wird. Eine mögliche Lösung zeigt Bild 2.3..

2.3.3.7. Ein-/Ausgabeschaltungen

Ein-/Ausgabeschaltungen auf Basis des programmierbaren PIO-Schaltkreises U 855 D bzw. Z 80 PIO können sowohl asynchron als auch synchron bezüglich des Programmablaufs betrieben werden. Dabei ist die asynchrone Betriebsart dadurch gekennzeichnet, daß die Aufforderung zur Dateneingabe oder Datenausgabe mittels Interrupt erfolgt.





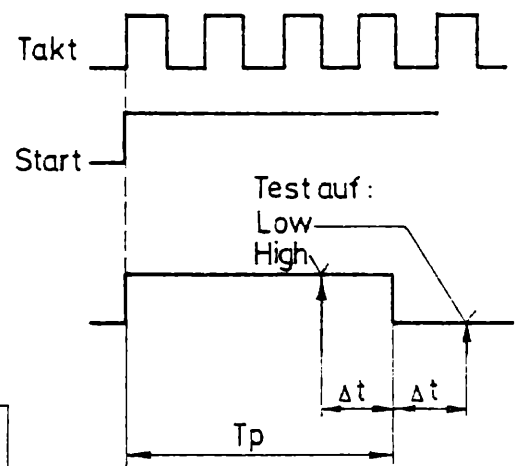


Bild 2.3 Testen eines Monoflops

Hierbei kann durch eine zeitweilige Verbindung zwischen einem freien PIO-Anschluß (eines anderen Ports) mit dem jeweiligen STROBE-Eingang des PIO-Schaltkreises eine Zwangssynchronisation herbeigeführt werden. Damit ist wahlweise Selbsttest oder S.A. in softwaregesteuerter Betriebsart möglich. Nähere Ausführungen dazu im nächsten Aschnitt (2.3.3.8.).

Bei Datenausgabe mit starrem Bezug zum Programm empfiehlt sich die Anwendung der S.A. in der softwaregesteuerten Betriebsart, wobei determinierte Bitmuster ausgegeben werden. Läßt man auf jeden Ausgabebefehl einen Eingabebefehl folgen (ohne die PIO auf "Eingabe" umzuprogrammieren) und vergleicht beide Bytes, so erhält man eine Aussage bezüglich der Funktionsfähigkeit des PIO-Schaltkreises.

Bild 2.4. zeigt den prinzipiellen Programmaufbau (für U 880 D bzw. Z 80) in Assemblernotierung.

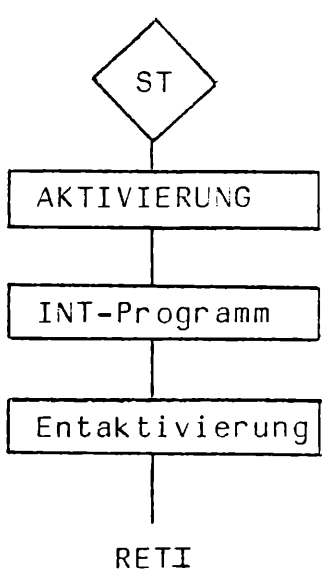
2.3.3.8. Interrupterzeugende Schaltungen

Mikrorechnergesteuerte Geräte enthalten in der Regel eine Vielzahl von Interruptquellen, wie z. B. langsame periphere Geräte, Anzeige- und Bedienelemente und Zähler-/Zeitgeberbausteine.

Die von diesen Quellen ausgesandten Interruptsignale können gleichzeitig oder zumindest dann eintreten, wenn eine vorangegangene Anforderung noch nicht abgearbeitet worden ist, so daß die Bearbeitung hardwaregestützt nach bestimmten Prioritäten erfolgen muß.

```
                ; PIOTEST IN SYNCHRONER BETRIEBSART

START:          LD    A, (ØFFFFH)      ; PSEUDOBEFEHL ZUR
                                       ; AKTIVIERUNG VON AB 15

                LD    B, Ø             ; BITMUSTER LOESCHEN

                LD    C, PIOX          ; LADEN PIO-ADRESSE

                LD    D, Ø             ; BITMUSTER LOESCHEN

LOOP:           LD    A, D             ; LADE A MIT BITMUSTER

                OUT  (C), A            ; AUSGABE BITMUSTER

                IN   (C), A            ; EINGABE BITMUSTER

                XOR   D                ; VERGLEICH

                JR    NZ, ERROR        ; APSPRUNG FALLS FEHLER

                INC   D                ; D:=D+1

                JR    NZ, LOOP

                JR    START

ERROR:          XOR   A                ; A:=Ø

                OUT  (C), A            ; AUSGABE A = Ø

                JR   START
```

Bild 2.4. Signaturanalyse-Prüfprogramm (Beispiel für U 880)



; Setzen eines Start-Bits

; Rücksetzen des Start-Bits

Bild 2.5. Interrupt-Behandlungsprogramm

Die Prüfung derartiger Schaltungen mittels S. A. ist nur in der softwaregesteuerten Betriebsart möglich. Dabei sind Vorkehrungen zu treffen, daß je Prüfgang nur eine bestimmte Quelle einen Interrupt erzeugen kann. Diese Forderung bedingt in der Regel ein spezielles S.A.-Prüfprogramm, das entweder über einen zusätzlichen internen Schalter oder eine dem Anwender nicht bekannte Bedienhandlung angesprungen wird oder in anderer Weise bereitgestellt wird (z. B. spezielle Service-ZRE-Karte).

Obwohl die Auslösung des Interrupts bezüglich des Taktsignals asynchron erfolgt, geschieht die Prüfung auf Vorliegen eines INT-Gesuchs streng taktsynchron am Ende jedes Befehls. Für den Anschluß des Signaturanalysators ist deshalb lediglich ein strenger Bezug zwischen Programm und START-STOP-Fenster herzustellen. Den Aufbau des Interrupt-Behandlungsprogramms zeigt Bild 2.5..

Vor Beginn des eigentlichen INT-Programms wird ein Bit aktiviert, z. B. ein nicht benötigtes höherwertiges Adreßbit oder ein zusätzlicher PIO-Ausgang. Dieses Bit wird am Ende des INT-Programms zurückgesetzt und dient als START-STOP-Signal für den Signaturanalysator. Auf diese Art werden nur die während der INT-Behandlung auftretenden Signaturen bewertet, unabhängig vom jeweiligen Hauptprogramm.

Problematisch ist die Prüfung von Interruptschaltungen bei Mikrorechner-Geräten, die das Echtzeit-Betriebssystem EIEX 1521 des VEB Kombinat Robotron verwenden, da dieses Programmsystem auf einem Zeitinterrupt basiert, der die höchste Priorität besitzt. Da der Zeitinterrupt jedes andere Interrupt-Behandlungsprogramm unterbricht, würden sich unstabile Signaturen ergeben. Sofern auf die Verwendung des Betriebssystems während der S.A. nicht verzichtet werden soll, muß daher für die Dauer des zu testenden INT-Programms der CTC-Interrupt selektiv gesperrt werden.

2.3.3.9. Anzeigeschaltungen

In den meisten Fällen ist es sinnvoll, für die Prüfung von Displays Selbsttestprogramme zu verwenden, da sie unmittelbar Aufschluß geben, welche Teile defekt sind. Eine Anwendung der Signaturanalyse ist jedoch zu empfehlen, wenn Zeitmultiplexbetrieb (bei Segment- oder Matrix-Anzeigelementen) vorliegt oder autonome Bildschirmanzeigen mit eigenem Bildspeicher verwendet sind.

2.3.3.10. Tastaturen

Sofern das zu prüfende Gerät außer einer Tastatur auch eine geeignete Anzeige besitzt, sollte die Funktionsfähigkeit der Tastatur mittels Selbsttestprogramm nach vorangegangener Prüfung der Anzeigeschaltung kontrolliert werden. Damit liegt zumindest der Zweig fest, in dem sich das fehlerhafte Element befindet.

Da, von unbedeutenden Ausnahmen abgesehen, die Bedienung der Tastatur mit Hilfe von Interrupt-Behandlungsprogrammen erfolgt, sei es durch zeitzyklische Abfrage oder INT-Auslösung bei Bestätigung einer Taste, gilt für die Anwendung der S.A. prinzipiell das unter 2.3.3.8. gesagte.

Natürlich ist es auch möglich, spezielle S.A.-Programme vorzusehen, die ohne Interrupt arbeiten.

2.3.3.11. Zähler

Durch Mikrorechner gesteuerte Zähler lassen sich problemlos prüfen, wenn die Initialisierung (Rücksetzen, Voreinstellen) durch den Mikrorechner erfolgt.

Außerdem ist bei entsprechender Beschaltung eine separate Prüfung möglich, die besonders für erste praktische Versuche mit dem Signaturanalysator bzw. zur Überprüfung desselben geeignet ist.
Ein praktisches Beispiel für die Zählerschaltkreise D 192, D 193 zeigt Bild 2.6..

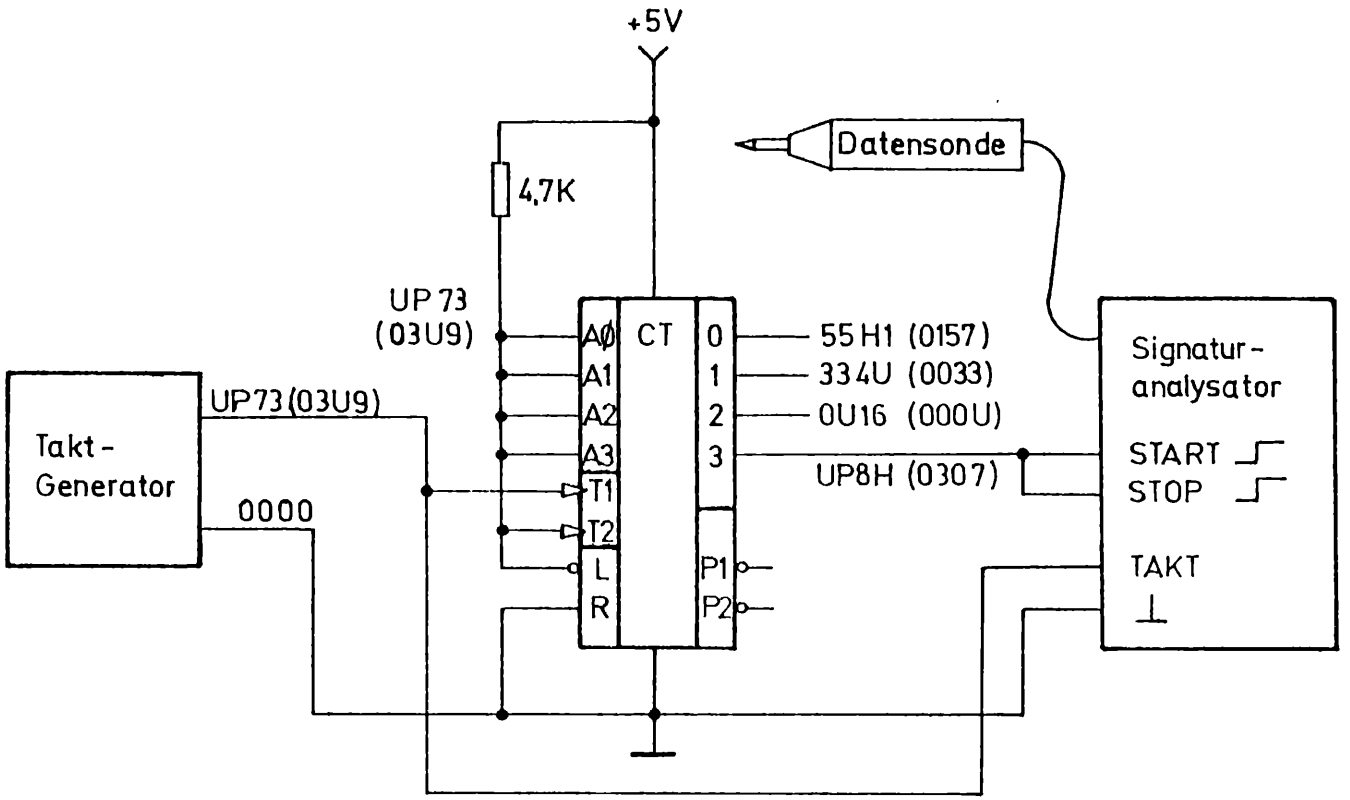


Bild 2.6 Überprüfung eines Zählers mittels S.A.

Beispiel: Schaltkreis D193 (SN 74193)
" D192 (SN 74192)
Signaturen für D192 in ( )

2.3.3.12. Abschließende Bemerkung

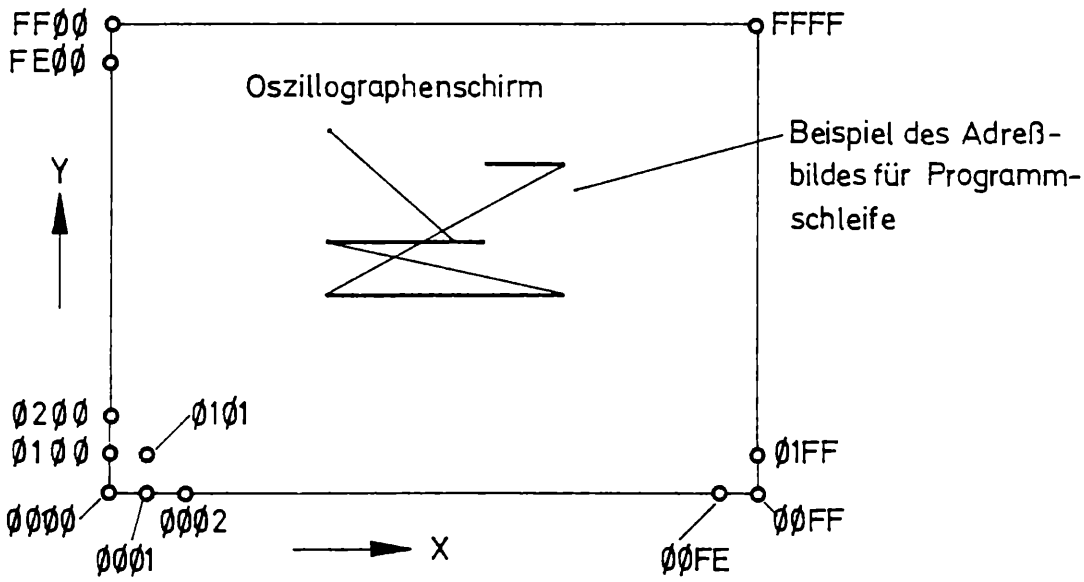
Die Reihe ausgewählter Anwendungsbeispiele ließe sich noch beliebig fortsetzen. Es ist jedoch nicht Anliegen dieser Applikationsschrift, eine lückenlose Dokumentation aller nur denkbaren Anwendungsfälle bereitzustellen. Dafür existiert bereits eine umfangreiche Spezialliteratur.

Das Ziel bestand vielmehr darin, dem Entwicklungsingenieur ein gewisses Grundwissen sowie ein Gefühl dafür zu vermitteln, in welcher Weise die Signaturanalyse bereits in der Entwicklungsphase zu berücksichtigen und mit anderen Diagnoseverfahren zu verknüpfen ist.

2.4. Adreßbilddarstellung (Mapping)

Eine weitere Hilfsmaßnahme, um zu einer raschen Ja-Nein-Aussage bezüglich der Funktionsfähigkeit eines Gerätes zu gelangen, besteht darin, die zeitliche Reihenfolge der je Programmschritt aufgerufenen Adressen bildlich darzustellen. Zu diesem Zweck wird auf dem Bildschirm einer Oszillografenröhre jeder Speicheradresse ein Bildpunkt zugeordnet. Bei hinreichender Nachleuchtdauer bzw. zyklischem Durchlauf bestimmter Programmabschnitte zeichnet der Elektronenstrahl charakteristische Muster auf dem Bildschirm. Vergleicht man diese Ist-Muster mit "Soll-Mustern", so kann sehr schnell festgestellt werden, ob ein Fehler in einem bestimmten Programmabschnitt vorliegt. Die Lokalisierung erfolgt dann mit Hilfe der Signaturanalyse.

Bild 2.7. zeigt das erforderliche Service-Hilfsmittel. Es besteht aus einer Leiterplatte, die den Systembus-Anschluß und zwei einfache 8-Bit-Digital-Analog-Wandler enthält. Außerdem ist ein Oszillograf mit großer Nachleuchtdauer erforderlich. Für Anwendung in Systemen, die den U 880 enthalten, empfiehlt sich dabei ein Schalter, der wahlweise die Adreßsignale mit dem Refreshsignal oder dem negierten Refreshsignal verknüpft. Damit erzielt man eine bessere Übersichtlichkeit.



Adresse = ADR = h1, hØ = Y, X

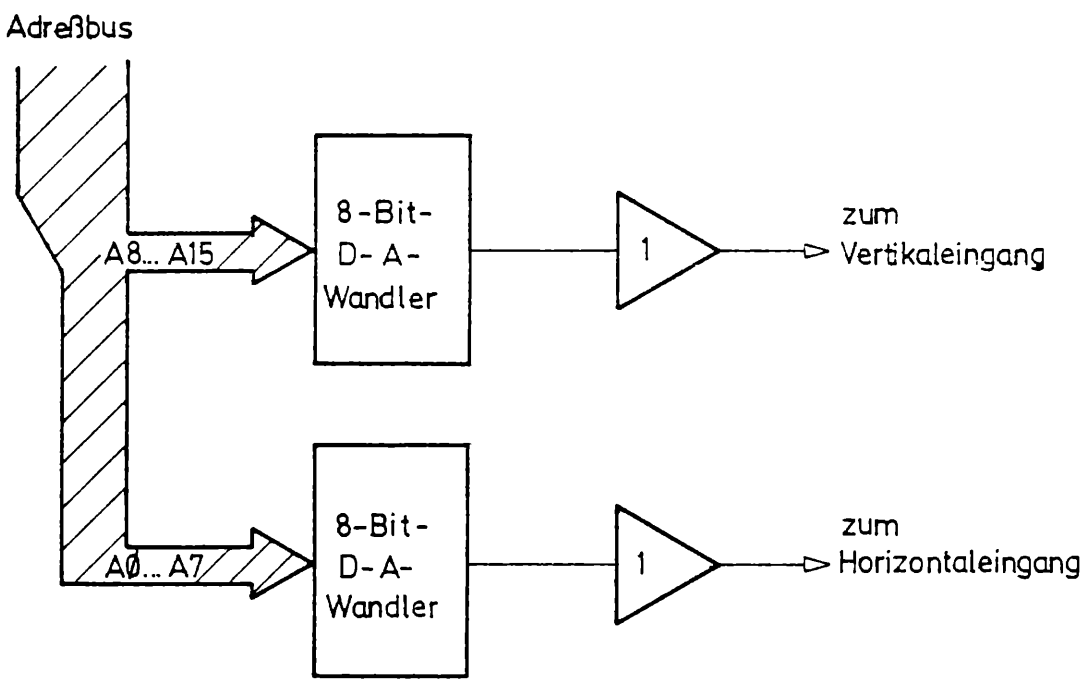


Bild 2.7 Prinzip der Adreßbilddarstellung

3. Anwendung

3.1. Prüfaufgabe allgemein

Für jeden Anwendungsbereich sind spezielle Prüfausrüstungen für Mikroprozessor-Erzeugnisse charakteristisch. Die Prüfverfahren ergänzen sich gegenseitig. Tabelle 3.1. zeigt eine Übersicht.

3.2. Signaturanalyse

3.2.1. Freilaufzustand

Als Freilaufzustand bezeichnet man eine Betriebsart des Mikroprozessors in der der gesamte Adreßraum von ØØØØ H bis FFFFH (bei 16-Bit-Adreßbus) im zyklischen Betrieb durchlaufen wird, ohne daß Befehle des Anwenderprogramms ausgeführt werden.

Im Freilaufzustand ist der Kern eines Mikrorechnersystems prüfbar (siehe Bilder 1.5. und 1.6.), der im allgemeinen 10 ... 50 % der Gesamtschaltung umfaßt.

Der Freilaufzustand kann durch folgende Maßnahmen hergestellt werden:

1. Datenbus auftrennen

   realisierbar durch:

   - Pufferschaltkreis (durch Steuersignal) sperren oder aus Steckfassung entfernen) siehe Abschnitt 2.3.2.
   - DIL-Schalter
   - auftrennbare Lötverbindung
   - Adapter für Mikroprozessor, sofern er auf einer Steckfassung montiert ist (siehe Abschnitt 3.2.2.)

Tabelle 3.1. Übersicht Prüfverfahren für Mikroprozessor-Erzeugnisse

Prüfverfahren bzw. Prüfausrüstung	Anwendungsbereich			Bemerkungen
	Erzeugnis-entwicklung	Produktion (Prüffeld)	Technischer Kunden-dienst	
Selbsttest	x	x	x	Fehlerlokalisierung möglich bis zur defekten Baugruppe
Logikanalyse	x			genaue Kenntnis des Prüfobjektes erforderlich. Hohe Qualifikation des Prüfpersonals erforderlich.
Simulation	x			Für Software-Prüfung
Emulation	x	x	x	spezielle Prüfgeräte; meist vorausgesetzt: Mikroprozessor auf Steckfassung
Bestückungs-prüfautomat (In-circuit-Test)		x		Signaturanalyse über Nadeladapter auch bei Prüfobjekten möglich, die nicht für Signaturanalyse vorbereitet sind
Funktions-Logik-Prüfautomat		x		hoher Programmieraufwand, kein Echtzeitbetrieb
Signaturanalyse		x	x	Fehlerlokalisierung bis zum defekten Bauelement bei geringem Ausrüstungsaufwand u. niedrigsten Qualifikationsanforderungen
Logikprüfstift Logikpulser Stromprüfstift	x	x	x	Prüfhilfsmittel, die zusätzlich zu den anderen Verfahren notwendig sind
Sonstige Prüfmittel (Oszilloskop, Digitalvoltmeter, Ohmmeter, Zähler u. a.)	x	x	x	
Verbindungs-prüfung		x		Erkennen von Kurzschlüssen, Unterbrechungen und Fehlverbindungen
Sichtprüfung		x		Erkennen grober Fertigungsfehler

2. Ausführung von Befehlen, die keine Wirkung nach außen haben, aber den Befehlszähler inkrementieren.
   (z. B. NOP; LD r, r'; EI; CP A; CCF für U 880 und Z 80).
   Die Adapter nach Bild 3.1. bewirken die Ausführung von NOP-Befehlen.

Im folgenden Beispiel wird die Prüfung eines Mikrorechnerkerns im Freilaufzustand mittels Adapter (Bild 3.1.) beschrieben. Diese Methode ist bei allen Mikroprozessor-Systemen anwendbar, bei denen der Mikroprozessor auf einer Steckfassung montiert ist. Günstiger ist in jedem Falle die Herstellung des Freilaufzustands durch Steuersignale, wie in Abschnitt 2.3.2. beschrieben.

Beispiel:

Prüfablauf im Freilaufzustand mittels Adapter (Bild 3.1.) /5/

Mikroprozessor U 880/Z 80
Der Mikroprozessor wird über den Adapter (Bild 3.1.) mit der Steckfassung im Erzeugnis verbunden. Nach dem Einschalten der Betriebsspannung arbeitet der Mikroprozessor im Freilaufzustand. Im ROM gespeicherte Befehle werden dabei nicht ausgeführt. Der Signaturanalysator wird folgendermaßen angeschlossen (siehe Tabelle 3.2):

Tabelle 3.2. Anschlüsse START, STOP, TAKT des Signaturanalysators zur Prüfung des Mikroprozesses U 880 - Freilaufzustand

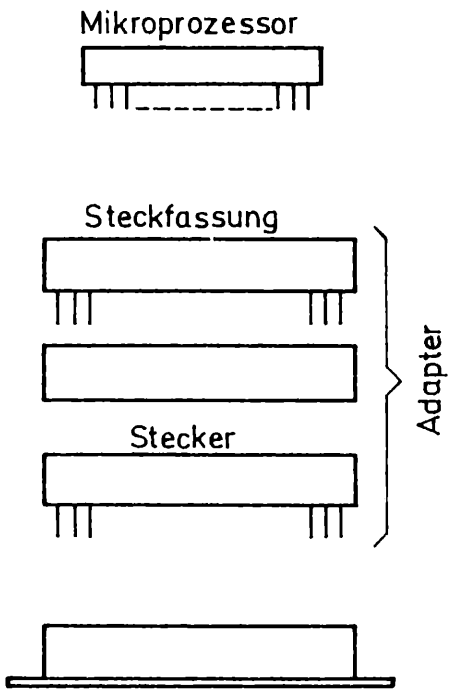
	Prüfung des Adreßbus		Prüfung des ROM und Datenbus	
Signatur analysator	Mikroprozessor-anschluß	Flankeneinstellung	Anschluß	Flankeneinstellung
Anschluß START	5 (A 15)	⌊	$\overline{CS}$ ROM	⌊
Anschluß STOP	5 (A 15)	⌊	$\overline{CS}$ ROM	⌈
Anschluß TAKT	21 ($\overline{RD}$)	⌊	21	⌈
Anschluß Masse	29		29	

Der ordnungsgemäße Anschluß des Signaturanalysators wird geprüft durch Kontrolle der Signaturen auf den Betriebsspannungs- und Masseleitungen.

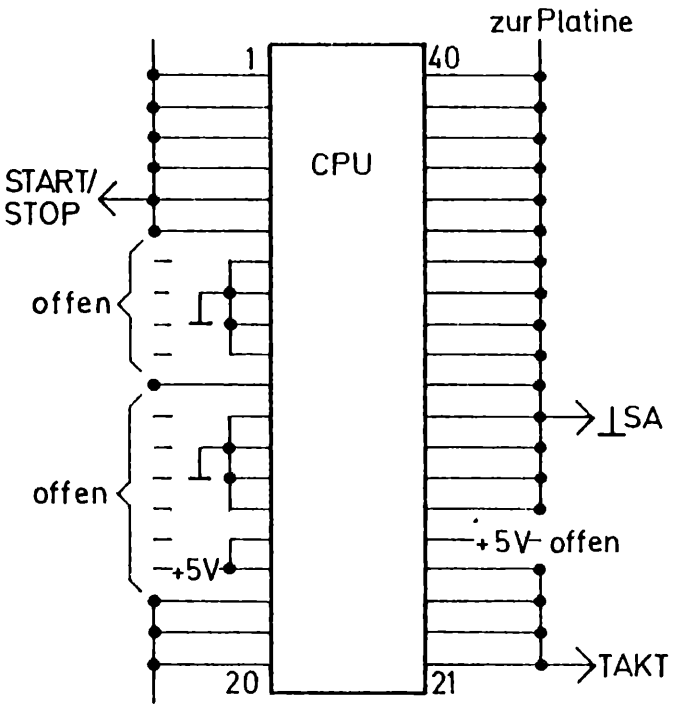
Aufbau und Anordnung der Adapter

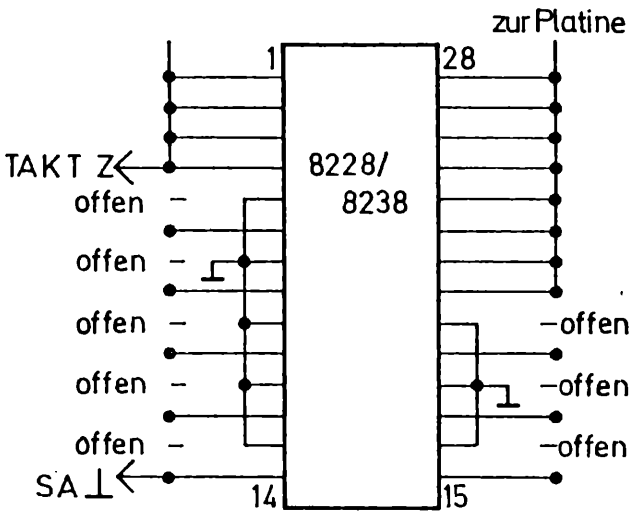
Mikroprozessoren U 880, Z 80

Mikroprozessor 8080



Leiterplatte mit Steckfassung





START/STOP an Anschluß A15 am Schaltkreis 8080

Bild 3.1 Adapter zur Herstellung des Freilaufzustands (nach [5])

Die Signatur von Masseleitungen ist immer 0000. Betriebsspannungssignatur: 0001.

Die Sollkennzeichen an den Adreßleitungen des Mikroprozessors sind:

A_0	UUUU	A_6	UPFH	A_{12}	HAP7
A_1	5555	A_7	52F8	A_{13}	3C96
A_2	CCCC	A_8	HC89	A_{14}	3827
A_3	7F7F	A_9	2H70	A_{15}	755U
A_4	5H21	A_{10}	HPP0		
A_5	0AFA	A_{11}	1293		

Diese Signaturen gelten für alle Mikroprozessoren mit 16 Adreßbits. Gleiche Signaturen auf zwei verschiedenen Busleitungen deuten auf einen Kurzschluß zwischen diesen Leitungen hin.

3.2.2. Signaturanalyse-Prüfprogramm

3.2.2.1. RAM, Ein- und Ausgänge

Die Prüfung der Ein- und Ausgänge des Mikrorechners und der Schreib-Lese-Speicher (RAM), die im Freilaufzustand nicht möglich ist, erfordert spezielle Signaturanalyse-Programme. Das sind sehr einfache, periodisch ablaufende kurze Programme, deren Zweck darin besteht, das Prüfobjekt zu stimulieren, d. h. auf jeder zu prüfenden Leitung mehrere, zumindest aber einen Signachwechsel zu erzeugen.

Für diese Prüfprogramme sind 50 ... 300 Byte ROM-Kapazität im Prüfobjekt zu reservieren. Anwenderprogramme und Selbsttestprogramme eines Prüfobjektes sind als Signaturanalyse-Prüfprogramm ungeeignet. Außer der Stimulation der zu prüfenden Schaltung ist die Festlegung geeigneter START-, STOP- und TAKT-Signale notwendig. Zur vollständigen Prüfung sind mehrere Prüfeinstellungen (START-, STOP-, TAKT-Signale) notwendig.

Als TAKT-Signal eignen sich: Systemtakt, Read- und Write-Signale, oder ein Signal, das von den zu prüfenden Daten abgeleitet wird.

START- und STOP-Signale werden im Programm vorgegeben, möglich sind auch Adreßsignale oder CS-Signale.

Zur Erzeugung definierter Zustände an den Eingängen des Prüfobjektes sind folgende Maßnahmen geeignet:

- von außen angelegte Signale
- Anschluß geprüfter Ausgänge an die zu prüfenden Eingänge.

Für den RAM-Test sind spezielle Prüfprogramme zu schreiben (siehe Abschnitt 2.3.3.3.). Die Prüfung besteht in der Kontrolle der Datenbus-Signaturen.

Der Start des S.A.-Prüfprogramms kann durch eine der folgenden Maßnahmen ausgelöst werden:

- durch Software-Maßnahme
  (nur dem Servicetechniker bekannte Bedienhandlung)
- durch Interrupt
- durch Austausch System-ROM gegen Test-ROM
- durch Umadressierung mittels Schalter.

3.2.2.2. Äußere Logik

Zur Prüfung der äußeren Logikschaltungen des Systems sind spezielle prüflingsbezogene Prüfprogramme notwendig. Falls im Prüfobjekt nicht genügend ROM-Kapazität vorhanden ist, muß zumindest eine Steckfassung für einen Test-ROM oder eine Speichererweiterung über einen Prüfsteckverbinder vorgesehen werden.

Interrupt ist während des Signaturanalyse-Testlaufs zu verbieten.

3.3. Anwendung im Prüffeld

Prüffelder in Produktionsbetrieben sind zum Unterschied zu Kundendienstwerkstätten mit leistungsfähigen, universellen Prüfautomaten ausgerüstet, die die vollständige Prüfung und Fehlerlokalisierung einer bestückten Leiterplatte innerhalb weniger Minuten ermöglichen. Trotzdem kann die für den technischen Kundendienst vorbereitete

Fehlerlokalisierungsdokumentation auf Basis Signaturanalyse auch im Prüffeld verwendet werden.

Außerdem bestehen in den Prüffeldern zusätzliche Prüfmöglichkeiten mit

- Logikprüfautomaten mit Signaturanalyseprogrammen
- Prüfautomaten mit Nadeladapter (Bestückungsprüfung)
  Über die Kontaktstifte des Adapters sind beliebige Schaltungsknoten auf der bestückten Leiterplatte erreichbar. Das ermöglicht die Prüfung auch solcher Leiterplatten, die bei der Erzeugnisentwicklung nicht für Signaturanalyse vorbereitet wurden. /8, 9/

3.4. Anwendung im Technischen Kundendienst

Die schnellste und sicherste Methode zur Instandsetzung von defekten Mikroprozessorsystemen ist der Baugruppenaustausch. Sie gewährleistet kurze Stillstandszeiten des Systems im Havariefall und ist vom Anwender in vielen Fällen selbst ausführbar, sofern Ersatzbaugruppen zur Verfügung stehen. Die defekten Baugruppen werden beim Hersteller instandgesetzt. Die Nachteile dieser Methode bestehen in den sehr hohen Kosten für Anschaffung und Lagerhaltung der Ersatzbaugruppen und in der oftmals nicht gewährleisteten Verfügbarkeit.

Diese Nachteile lassen sich vermeiden durch Reparatur defekter Baugruppen in Kundendienstwerkstätten. Es ist im allgemeinen ausreichend, Signaturanalysatoren oder andere Serviceprüfgeräte, die die Anwendung des Verfahrens gestatten, in diesen Werkstätten zu stationieren.

Erfahrungsgemäß kommt es beim Baugruppenaustausch häufig vor, daß auch intakte Baugruppen gewechselt und in die Werkstatt geschickt werden. Um diesem Nachteil zu begegnen, ist es manchmal wünschenswert, die Fehlerlokalisierung bis zum defekten Bauelement direkt beim Anwender durchzuführen. Eine Baugruppenreparatur beim Anwender ist meist wegen der Probleme beim Entlöten und Einlöten von integrierten Schaltkreisen unzweckmäßig.

4. Dokumentation

4.1. Allgemeine Gesichtspunkte

Die wirksame Anwendung der Signaturanalyse im technischen Kundendienst (Service) und ggf. bei der Endprüfung in der Fertigung setzt eine Dokumentation voraus, die den folgenden Forderungen gerecht wird:

- Harmonische Einbettung in das Fehlersuchkonzept des Gesamtgerätes
- Gewährleistung einer guten Übersichtlichkeit der Darstellung, die auch bei späteren Änderungen nicht verloren gehen darf
- hoher Vertrauenscharakter der dokumentierten Signaturen
- minimaler Zusatzaufwand.

Selbst bei ausgesprochenen Digitalgeräten (z. B. Zähler) ist die Signaturanalyse ein Prüfverfahren unter zahlreichen anderen, so daß die Dokumentation für die S.A. in sinnvoller Weise in das Gesamtkonzept einzubetten ist. Wenn also beispielsweise in einem Stromlaufplan alle für die Fehlersuche wichtigen Spannungen, Ströme, Impulsbilder, Frequenzen etc. eingetragen sind, so ist es sinnvoll, dies in gleicher Weise für die Signaturen vorzusehen.

Problematisch sind die Gewährleistung eines hohen Vertrauenscharakters und die Aufrechterhaltung einer guten Übersichtlichkeit bei späteren Änderungen. Da die in der Entwicklungsphase ermittelten Sollsignaturen erst nach Prüfung der Erstserie verbindlich sind, d. h. zu einem Zeitpunkt, da die Gerätedokumentation bereits fertiggestellt ist, sind Änderungen unvermeidlich.

Hier sollte auf den Austausch ganzer Blätter orientiert werden, da lose eingelegte Berichtigungen meist übersehen werden oder verloren gehen.

Zur Gewährleistung eines hohen Vertrauenscharakters des Prüfverfahrens wird empfohlen, die Soll-Signaturen an mindestens 3 Funktions- oder Fertigungsmustern zu ermitteln und diese an 10 Exemplaren der

Erstserie zu kontrollieren. Ein entsprechender Kontrollvermerk ist in die Unterlagen einzutragen.

Für die Darstellung der Soll-Signaturen in den Serviceunterlagen gibt es einige Möglichkeiten, die im folgenden beschrieben werden.

4.2. Signatur-Tabellen

Die einfachste, kostengünstigste, aber auch unübersichtlichste Darstellungsform besteht darin, die Soll-Signaturen in Tabellenform aufzulisten. Ein willkürlich ausgewähltes Beispiel zeigt Bild 4.1.. Der Vorteil besteht darin, daß eine solche Tabelle mit Schreibmaschine oder Seriendrucker erstellt werden kann, so daß insbesondere bei maschineller Unterlagenherstellung ein minimaler Aufwand entsteht und spätere Änderungen einfach möglich sind.

Nachteilig für den Service-Techniker ist die Notwendigkeit, mit mindestens zwei Unterlagen arbeiten zu müssen, nämlich dem Bestückungsplan und der Signatur-Tabelle.

Diese Art der Dokumentation sollte deshalb nur bei Klein- und Kleinstserien sowie bei Geräten angewandt werden, die prinzipbedingt eine hohe Zuverlässigkeit besitzen und demzufolge nur geringe Serviceleistungen erfordern.

4.3. Stromlaufplan mit Signaturen

Wie seit langem in der Fernsehtechnik üblich, ist es möglich, die Soll-Signaturen neben anderen Angaben direkt in den Stromlaufplan einzutragen (Bild 4.2.). Dies kommt dem Bestreben des Prüfers entgegen, über die Verfolgung von Signalen im logischen Schaltungsverband durch aktives Mitdenken den Fehlerort zu lokalisieren.

Auch hier sind zwei verschiedene Unterlagen zur Fehlersuche erforderlich. Hinzu kommt, daß jede Änderung eine Änderung des Stromlaufplanes zur Folge hat und demzufolge sehr teuer ist.
Eine Anwendung dieser Dokumentationsart ist daher auf solche Einzelfälle zu beschränken, für die keine vernünftigen Suchalgorithmen gefunden werden können.

Funktionseinheit:	Leiterplatte 528 611.3 Frequenzmesser	
S.A. Einstellung:	START	⊤
	STOP	⊥
	TAKT	⊥
	HALT	AUS
START-Eingang:	X1C11	
STOP-Eingang:	X1C11	
TAKT-Eingang:	X1C13	

Bauelement	Anschluß	Signatur	Bemerkung
A2	6	A1H2	
	9	CHAU	10 KOHM an + 5 V
	10	02C2	
	11	86C7	
A3	1	U102	
	3	FH37	
	4	709A	Tasten 4,5 (Frontpl.) drücken
	11	6UA2	
	12	3HH4	
.		.	.
	.	.	
		.	

Bild 4.1 Signatur-Tabelle

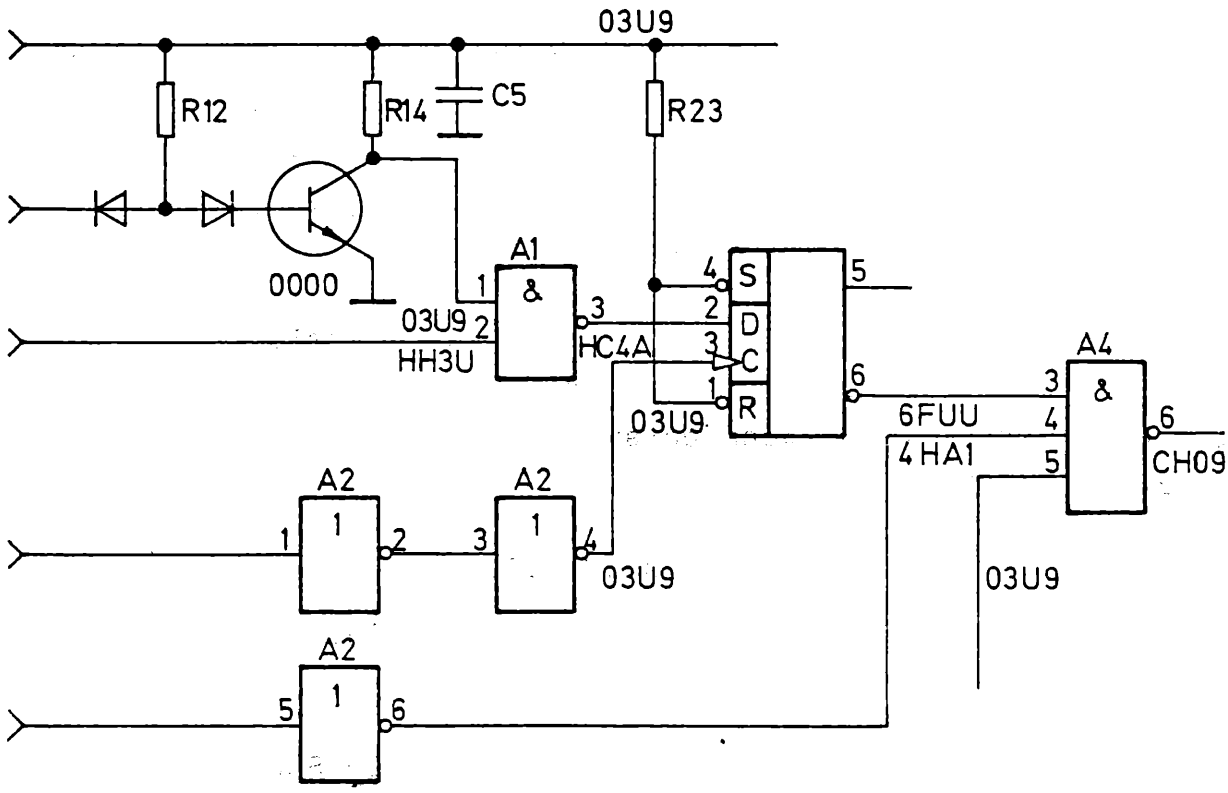


Bild 4.2 Stromlaufplan mit Signaturen

4.4. Spezielle Leiterplattenzeichnung

Die wohl eleganteste Art der Dokumentation besteht darin, in eine schematisierte Zeichnung der Leiter-Seite der Leiterplatte, die nur die Bauelemente-Anschlußpunkte enthält, die Signaturen einzutragen. Eine solche Darstellung ist übersichtlich, denn sie korrespondiert mit der Ansicht der Leiterplatte aus Sicht des Prüfers, sie ist (unter bestimmten Einschränkungen) maschinell erstellbar und für die Fehlersuche allein ausreichend.

Hinzu kommt, daß diese Darstellung direkt mittels Siebdruck auf die Leiter-Seite der Leiterplatte oder eine gesonderte Folienmaske aufgedruckt werden kann, wenn entsprechende technologische Voraussetzungen vorhanden sind.

Ein einfaches Beispiel zeigt Bild 4.3.

Ähnliches Aussehen hätte eine Maske aus Folie, bei der Ausbrüche an den Testpunkten vorhanden wären.

Man erkennt, daß es sinnvoll ist, integrierte Schaltkreise mit gleicher Orientierung zu plazieren, um eine 90°-Drehung der Druckzeilen zu vermeiden. Da es für die beschriebene Darstellungsart bis jetzt keinen deutschen Begriff gibt, wird als vorläufige Arbeitsbezeichnung "Signaturbildzeichnung" (SBZ) vorgeschlagen.

4.5. Ablaufplan zur Fehlerlokalisierung

Eine sehr übersichtliche Form der Darstellung, die minimale Anforderungen an die Qualifikation des Prüfers stellt, besteht in speziellen Fehlersuch-Ablaufplänen, die wie Programm-Ablaufpläne in der Rechentechnik aufgebaut sind.

Ein Beispiel zeigt Bild 4.4.

Obwohl eine solche Darstellungsart die Fehlersuche extrem vereinfacht, kann sie nur bedingt empfohlen werden, da sie

- hohen Zeichenaufwand bei der Erstellung
- hohen Zeichenaufwand bei jeder Änderung
- hohen ingenieurtechnischen Aufwand bei der Algorithmierung und Fehlersimulation

erfordert.

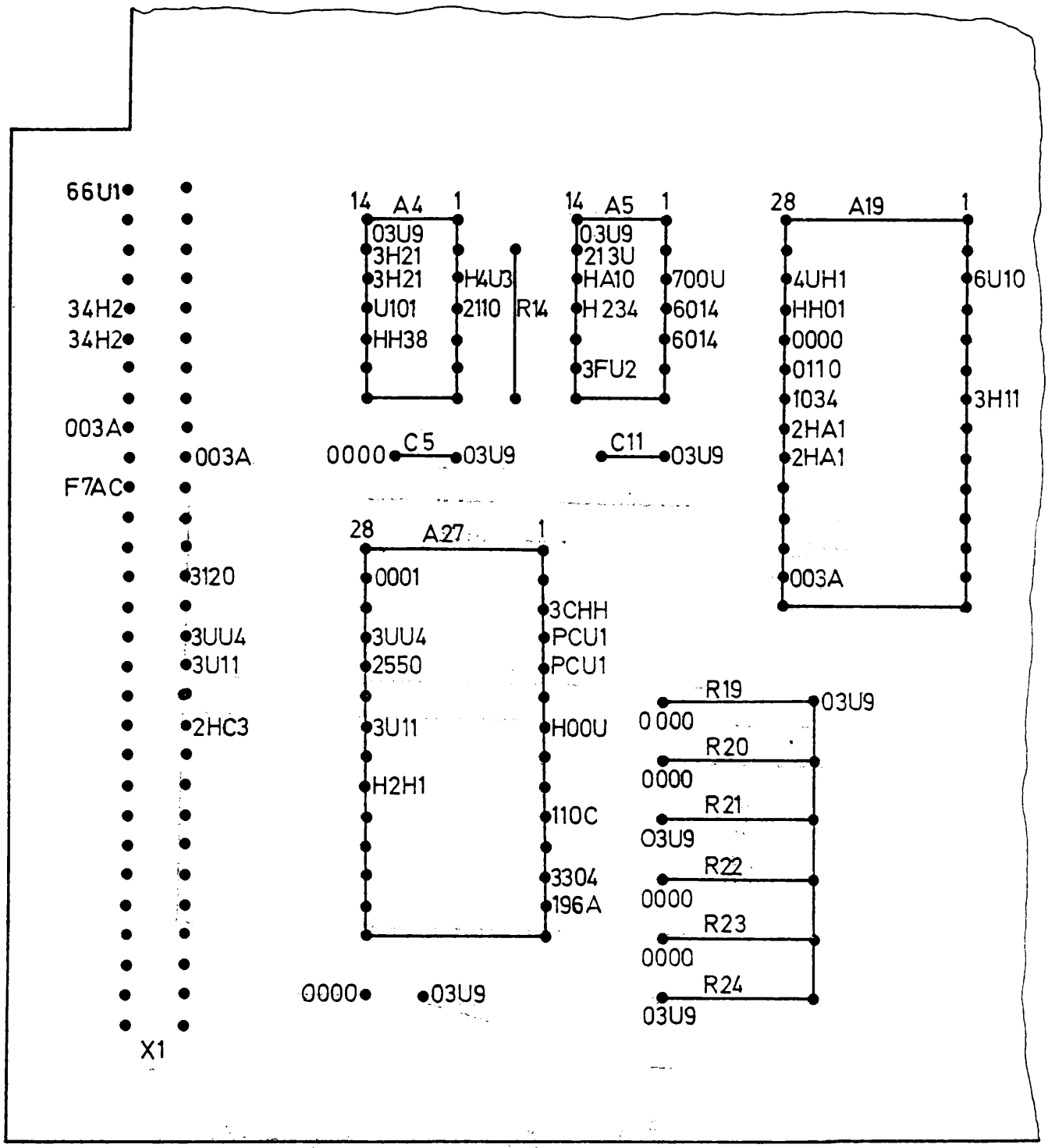


Bild 4.3. Ausschnitt aus einer Signaturbildzeichnung
(Maßstab 2:1)

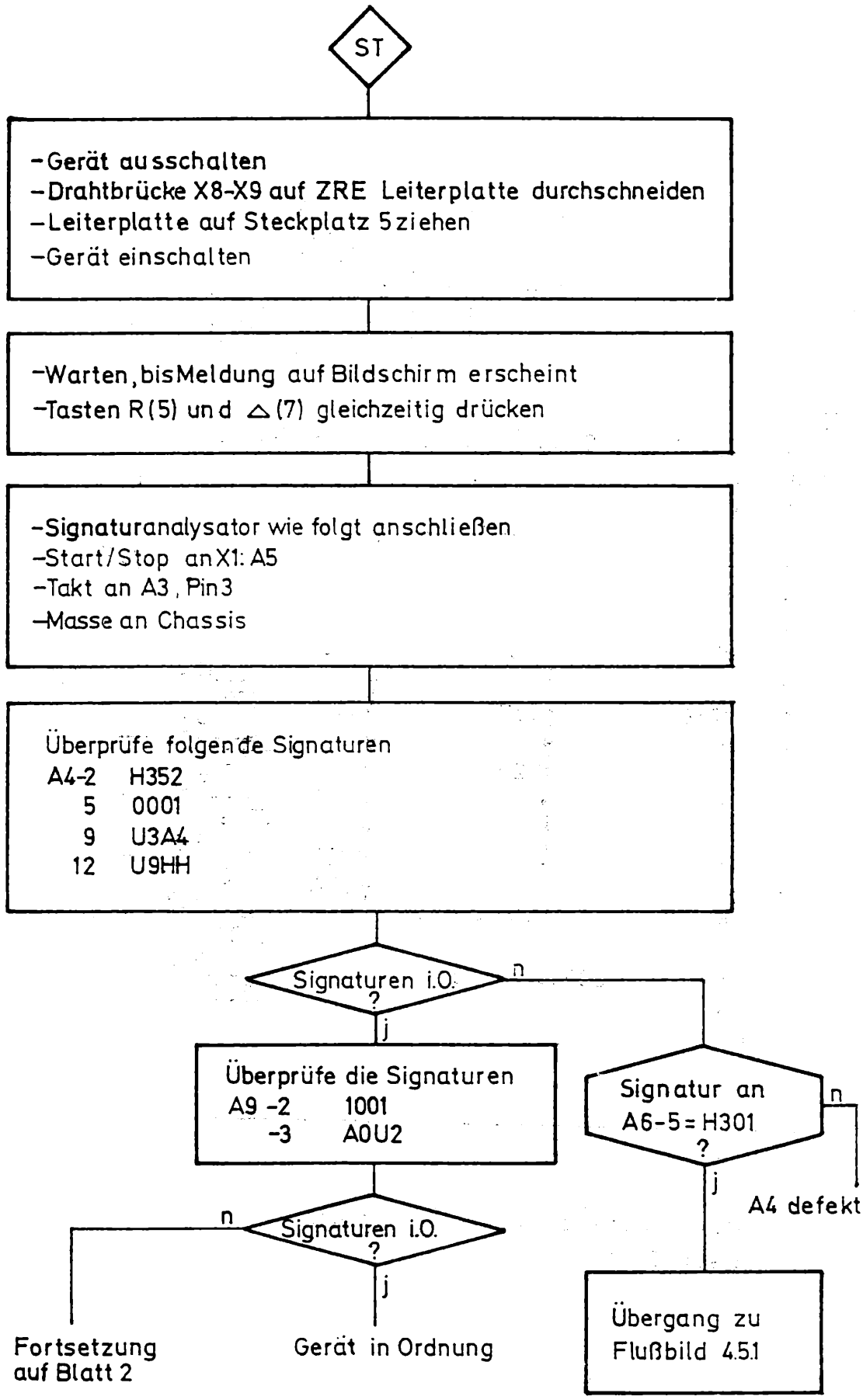


Bild 4.4 Beispiel eines Fehlersuch-Ablaufplanes

4.6. Auswahl der Dokumentationsart

Die Einführung der Signaturanalyse erfordert einen erhöhten Aufwand bei der Entwicklung im Labor und im Konstruktionsbüro. Dieser erhöhte Aufwand ist den geschätzten Einsparungen im Service gegenüberzustellen, so daß von Fall zu Fall zu entscheiden ist, welche Darstellungsart zu verwenden ist.

Unabhängig von dieser Wahl sollte die entsprechende Unterlage als Serviceunterlage deklariert und nicht Bestandteil des Geräteunterlagensatzes werden, um die Kosten für unvermeidbare Änderungen zu minimieren.

5. Fachwörterverzeichnis (Deutsch/Englisch)

Adresse/Address

numerischer Ausdruck zur Kennzeichnung eines Speicherplatzes

Adreßbilddarstellung/mapping

grafische Adressendarstellung auf einem Bildschirm. Niederwertiges Byte und höherwertiges Byte einer Adresse werden als Analogsignal auf verschiedenen Achsen eines Koordinatensystems dargestellt, so daß jeder Adresse ein Punkt auf dem Bildschirm entspricht.

Algorithmus/algorithm

Rechenvorschrift zur schrittweisen Lösung einer Aufgabe

Assembler/assembler

Programm zur Übersetzung eines Programms aus der Assemblersprache in die Maschinensprache

Auffrischen/refreshing

Auffüllen der schwindenden Ladung auf einer Kapazität (bei dynamischen Speichern)

Baugruppenaustausch/board swapping

Instandsetzung eines Erzeugnisses durch Auswechseln der defekten Baugruppe; Instandsetzung der defekten Baugruppe beim Erzeugnisproduzenten.

Befehl/instruction

Anweisung für einen Rechner zur Ausführung einer Operation

Befehlszähler/program counter

Register, das die Adresse des Befehls enthält, der als nächster ausgeführt wird.

Bestückungsprüfung/in-circuit test

Prüfung einer bestückten Leiterplatte mittels Prüfautomat mit Nadeladapter. Kontrolle auf richtige Bauelementeanordnung, auf Kurzschlüsse und Unterbrechnungen; keine Funktionsprüfung.

Bus/bus

Leitungsbündel zur Signalübertragung

Byte/byte

Gruppe zusammengehöriger Binärziffern, 8 Bit

CPU (Zentrale Recheneinheit, ZRE)/central processing unit

Zentraleinheit eines Rechners; Mikroprozessor

Direkter Speicherzugriff/DMA, direct memory access

Ein- und Aussgabe von Speicherinhalten ohne Einflußnahme der zentralen Recheneinheit

DMA

siehe direkter Speicherzugriff

Emulation/emulation

Funktionelle Nachbildung eines Rechnersystems durch ein anderes Rechnersystem mittels Hardware- und Software

Festwertspeicher, ROM/read only memory

Integrierter Speicherschaltkreis mit unveränderbarem Speicherinhalt

Freilaufzustand/freerunning

Betriebsart eines Mikroprozessors, bei der der gesamte Adreßraum zyklisch durchlaufen wird, ohne daß Befehle des Anwenderprogramms ausgeführt werden.

Hardware/hardware

Gerätetechnische Einrichtungen, im Gegensatz zu Programmen

Interface/interface

Gemeinsame Schnittstelle zur Kopplung von Funktionseinheiten

Interrupt/interrupt

Unterbrechung eines Programms mit der Möglichkeit der späteren Programmbearbeitung ohne Informationsverlust

Kellerspeicher/stack

Speicherbereich, aus dem die zuletzt eingegebene Information als erste wieder ausgelesen werden kann

Kern/kernel

Teil eines Mikrorechnersystems, bestehend aus Mikroprozessor, Stromversorgung, Taktgenerator, Festwertspeichern, Bustreibern, Dekodern

Logikpulser/Logic pulser

Hilfsmittel zur Fehlerlokalisierung auf bestückten Leiterplatten, dient zur Einspeisung von Signalen an beliebigen Knotenpunkten einer Schaltung.

OEM-Baugruppe/OEM = Original equipment manufacturer

Baugruppe, die von einem Betrieb zu dem Zweck produziert wird, daß sie von anderen Herstellern für eigene Erzeugnisentwicklungen verwendet werden kann.

PROM

Vom Anwender programmierbarer Festwertspeicher

pull-up-Widerstand/pull-up resistor

Widerstand, der zwischen einer Busleitung und dem High-Potential eingefügt wird, um im Bedarfsfall einen definierten Pegel auf der Busleitung herzustellen.

RAM

siehe Schreib-/Lese-Speicher

ROM

siehe Festwertspeicher

Schreib-/Lese-Speicher/random access memory, RAM

Speicher, der zur Schreib- und Leseoperationen (mit wahlfreiem Zugriff) geeignet ist.

Simulator

System oder Programm, das das Verhalten eines anderen Systems funktionell nachbildet.

Software/software

Gesamtheit der Programme, die zum Betrieb eines Rechnersystems erforderlich sind.

Stack

siehe Kellerspeicher

Stromprüfstift/current tracer

Hilfsmittel zur Fehlerlokalisierung auf bestückten Leiterplatten, dient zum Nachweis von impulsförmigen Strömen in Leiterzügen.

Tristate-Ausgang/tristate-output

Schaltkreisausgang, der 3 Zustände annehmen kann (hoch, tief und hochohmig)

Voreinstellzeit/setup time

minimale Zeitdauer, für die das Datensignal vor der aktiven Taktflanke stabil sein muß.

Zweierkomplement-Darstellung/2's complement notation

Das Zweierkomplement einer Binärzahl wird gebildet durch Addition der Zahl 1 zum Einerkomplement.

Zyklus/cycle

Zeitintervall, in dem eine bestimmte Folge von Ereignissen abläuft.

robotron
VEB Robotron
Meßelektronik Otto Schon
DDR-8012 Dresden
PSF 211 Telefon 4870
Telex: komkd 26068
Kabel: komkd

Exporteur:
Robotron-Export-Import
Volkseigener
Außenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen
Republik
DDR - 1030 Berlin
Friedrichstraße 61

6. Literaturhinweise

1. Peterson, W.W.: Prüfbare und korrigierbare Codes, München/Wien 1967

2. Hewlett-Packard Journal May 1977

3. Gülke, C.; Lauck, W.; Riedel, F.: Signaturanalysegerät, radio fernsehen elektronik 30 (1981) H. 4, S. 207...209

4. Firmenschriften:
Application Notes 222, 222-0, 222-1, 222-2, 222-3, 222-4, 222-10, 222-11, Hewlett Packard USA

5. Stefanski, A.: Free-running signature analysis simplifies troubleshooting, EDN Febr. 5, 1979

6. Neil, M. und Goodner, R.: Designing a serviceman's needs into microprocessor-based systems, Electronics 25 (1979) H. 5, S. 122...128

7. Jessen, K.: Production Line Testing of Microprocessor Based Products, Test! Vol III (1981) Nr. 8, S. 13...22

8. Nastrasevschi, A.: Signatur-Analyse bei µP-Baugruppen, Elektronik 30 (1981) 15, S. 83...88

9. Humphrey, J.R.; Firooz, K.: ATE brings speedy, complete testing via signature analysis to LSI-board production, Electronic Design 28 (1980) 3, S. 75...79

Ausgabe 1982